# (06) Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios residenciales españoles en su contexto urbano

## Estudio (06) para la ERESEE 2020 “Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España”

Subdirección General de Políticas Urbanas

Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo

Ministerio de Fomento

Noviembre de 2019

# Estudio sobre el potencial de generación de energia solar térmica y fotovoltaica en los edificios residenciales españoles en su contexto urbano

## Estudio (06) para la ERESEE 2020 "Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España"


DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA, VIVIENDA Y SUELO.

MINISTERIO DE FOMENTO.

Coordinación:

Eduardo de Santiago Rodríguez Subdirección General de Políticas Urbanas. Ministerio de Fomento.

Autores:

Emilia Román López, Grupo de Investigación en Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad (GIAU+S). Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio (DUyOT), Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM). Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Estefanía Caamaño Martín, Instituto de Energía Solar. Grupo de investigación Generación Distribuida Renovable y Control Inteligente. Universidad Politécnica de Madrid.

Gustavo Romanillos Arroyo. Grupo de Investigación del Transporte, las Infraestructuras y el Territorio – tGIS, Departamento de Geografía. Universidad Complutense de Madrid.

Carmen Sánchez-Guevara Sánchez, Grupo de Investigación Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible (ABIO). Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas (DCTA). ETSAM. UPM.



Noviembre de 2019.



*El Ministerio de Fomento no se hace partícipe de las opiniones ni de las conclusiones de este estudio, que pertenecen exclusivamente a sus autores.*

# ÍNDICE


1. INTRODUCCIÓN ..... 17

1.1. Objetivo general del estudio ..... 17

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y FUENTES DE INFORMACIÓN ..... 18

2.1. Limitaciones y ámbito de estudio ..... 18

2.2. Metodologia de Trabajo ..... 19

3. RECURSO SOLAR Y ENERGÍA FINAL ESPERABLE ..... 21

3.1. Estudio del recurso solar teórico ..... 21

3.1.1. Modelado del recurso solar ..... 21

3.1.2. Hipótesis adoptadas ..... 22

3.1.3. Resultados y conclusiones ..... 23

3.2. Energía final esperable del aprovechamiento solar activo de cubiertas ..... 28

3.2.1. Hipótesis adoptadas ..... 28

3.2.2. Resultados y conclusiones ..... 29

4. SISTEMAS DE GENERACIÓN PARA LA COBERTURA DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS 36

4.1. Necesidades energéticas de los edificios residenciales ..... 36

4.1.1. Usos energéticos del sector residencial ..... 36

4.1.2. Usos energéticos considerados ..... 42

4.2. Hipótesis adoptadas y escenarios analizados ..... 47

4.2.1. Hipótesis de cálculo ..... 47

4.2.2. Escenarios de uso de cubiertas ..... 48

4.3. Resultados ..... 49

4.3.1. Ejemplo 1: Madrid ..... 49

4.3.2. Ejemplo 2: localidades representativas de zonas climáticas ..... 54

4.3.3. Resultados de todas las localidades ..... 68

4.4. Conclusiones ..... 72

5. CARACTERIZACIÓN Y CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR POR TEJIDOS URBANOS ..... 73

5.1. Metodología de cálculo ..... 73

5.1.1. Datos de partida ..... 73

5.1.2. Selección y delimitación de tejidos urbanos ..... 74

5.1.3. Procesamiento de los datos y flujo de Trabajo ..... 84

5.2. Resultados por tejidos urbanos ..... 98

5.2.1. Vivienda unifamiliar aislada (VUa) ..... 98

5.2.2. Vivienda unifamiliar en hilera (VUh) ..... 103

5.2.3. Casco histórico (CH) ..... 108

5.2.4. Parcelación periférica (PP) ..... 112

5.2.5. Ensanche (EN) ..... 116

5.2.6. Bloque lineal (BL) ..... 120

5.2.7. Bloque en H (BH) ..... 124

5.2.8. Manzana moderna (MM) ..... 128

6. INTEGRACIÓN Y SÍNTESIS DE RESULTADOS ..... 133

6.1. Efecto de los tejidos urbanos sobre el recurso solar disponible en cubiertas ..... 133

6.2. Efecto de los tejidos urbanos sobre el recurso solar disponible en parcelas ..... 140

6.3. Efecto de los tejidos urbanos sobre la cobertura de la demanda energética ..... 144

7. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES ..... 146

REFERENCIAS ..... 152

ANEXO I ..... 154

I.a. Promedios diarios de irradiación global mensual sobre superficies horizontales e inclinades ..... 155

I.b. Energía final teórica asociada al aprovechamiento solar térmico y fotovoltaico de las cubiertas ..... 165

I.c. Cobertura de necesidades energéticas según distintas posibilidades de aprovechamiento de cubiertas ..... 170

I.d. Cobertura de necesidades energéticas según distintos escenarios de aprovechamiento de cubiertas ..... 178

ANEXO II: MAPAS DE CARACTERIZACIÓN Y CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR POR TEJIDOS URBANOS ..... 211

II.a Vivienda unifamiliar aislada ..... 212

II.b. Vivienda unifamiliar en hilera ..... 223

II.c. Casco histórico ..... 234

II.d. Parcelación periférica ..... 245

II.e. Ensanche ..... 256

II.f. Bloque lineal ..... 267

II.g. Bloque en H ..... 278

II.h. Manzana moderna ..... 289

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Matriz clústeres de viviendas. ....19

Figura 2. Recurso solar anual sobre superficie horizontal y sobre los planos de captación definidos, ....25

Figura 3. Recurso solar anual sobre distintas superficies en función de la latitud de las localidades analizadas. ....27

Figura 4. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas planas mediante colectores térmicos. ....31

Figura 5. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas inclinadas mediante colectores térmicos. ....32

Figura 6. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas planas mediante módulos fotovoltaicos. ....33

Figura 7. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas inclinadas mediante módulos fotovoltaicos. ....34

Figura 8. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento solar de cubiertas en función de la latitud de las localidades analizadas. ....35

Figura 9. Evolución del consumo energético del sector residencial desagregado por usos en el periodo 2010-2017 ....37

Figura 10. Evolución de la cobertura del uso energético de calefacción en el periodo 2010-2017 ....38

Figura 11. Evolución de la cobertura del uso energético de iluminación y electrodomésticos en el periodo 2010-2017 ....38

Figura 12. Evolución de la cobertura del uso energético de agua caliente sanitaria en el periodo 2010-2017 ....39

Figura 13. Evolución de la cobertura del uso energético de cocina en el periodo 2010-2017 ....39

Figura 14. Evolución de la cobertura del uso energético de refrigeración en el periodo 2010-2017 40

Figura 15. Consumo por usos energéticos en viviendas de las zonas climáticas definidas en el proyecto SECH-SPAHOUSEC. ....42

Figura 16. Consumo energético en calefacción de viviendas unifamiliares de 100 $m^2$ ....44

Figura 17. Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 $m^2$ en edificios plurifamiliares de 1 a 3 plantas ....45

Figura 18. Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 $m^2$ en edificios plurifamiliares de más de 4 plantas ....46

Figura 19. Escenario 1: ocupación de cubiertas en viviendas unifamiliares por captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos. Provincia de Madrid. ..... 50

Figura 20. Escenario 1: ocupación de cubiertas en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas por captadores solares térmicos y fotovoltaicos. Provincia de Madrid. ..... 51

Figura 21. Escenario 1: cobertura de las necesidades energéticas anuales. Provincia de Madrid. ..... 52

Figura 22. Escenario 2: cobertura de las necesidades energéticas anuales. Provincia de Madrid. ..... 52

Figura 23. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas anuales. Provincia de Madrid. ..... 53

Figura 24. Escenario 1: ocupación de cubiertas por captadores solares térmicos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas. ..... 56

Figura 25. Escenario 1: cobertura de las necesidades energéticas anuales para iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas. ..... 57

Figura 26. Escenario 1: generación de excedentes eléctricos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas. ..... 58

Figura 27. Escenario 2: cobertura de las necesidades energéticas anuales para iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas. ..... 60

Figura 28. Escenario 2: generación de excedentes eléctricos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas. ..... 61

Figura 29. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción: calefacción, iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas. ..... 64

Figura 30. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de refrigeración: iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas. ..... 65

Figura 31. Escenario 3: generación de excedentes eléctricos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas. ..... 66

Figura 32. Escenario 1: ocupación de cubiertas por instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas. 68

Figura 33. Escenario 1: cobertura de la demanda eléctrica anual para iluminación y electrodomésticos ..... 69

Figura 34. Escenario 1: generación de excedentes anuales, expresados en porcentaje de la demanda eléctrica ..... 69

Figura 35. Escenario 2: cobertura de la demanda eléctrica anual para acs, iluminación y electrodomésticos ..... 70

Figura 36. Escenario 2: generación de excedentes anuales, expresados en porcentaje de la demanda eléctrica ..... 70

Figura 37. Escenario 3: cobertura de la demanda energética en el periodo de calefacción .....71

Figura 38. Escenario 3: cobertura de la demanda energética en el pèriodo de refrigeración.....71

Figura 39. Escenario 3: generación de excedentes anuales, expresados en porcentaje de la demanda eléctrica de iluminación y electrodomésticos .....71

Figura 40. Asociación de clústeres y tejidos urbanos analizados .....73

Figura 41. Asociación de clústeres y tejidos urbanos analizados. Esquemás gráficos .....74

Figura 42. Mapa de ubicación de los Tejidos urbanos analizados.....75

Figura 43. Delimitación del área de estudio – Vivienda Unifamiliar Aislada .....76

Figura 44. Delimitación del área de estudio – Vivienda Unifamiliar en Hilera.....77

Figura 45. Delimitación del área de estudio – Casco Histórico .....78

Figura 46. Delimitación del área de estudio – Parcelación Periférica .....79

Figura 47. Delimitación del área de estudio – Ensanche.....80

Figura 48. Delimitación del área de estudio – Bloque Lineal .....81

Figura 49. Delimitación del área de estudio – Bloque en H .....82

Figura 50. Delimitación del área de estudio – Manzana Moderna.....83

Figura 51. Nube de puntos obtenida mediante técnica LIDAR – Trama urbana Ensanche.....87

Figura 52. Modelo Digital de Superficie de Cubiertas (MDSC) – Tejido urbano Ensanche.....88

Figura 53. Inclinación de cubiertas – Tejido urbano Ensanche .....90

Figura 54. Cubiertas planas o inclinadas por parcela – Tejido urbano Ensanche .....91

Figura 55. Porcentaje de cubiertas según inclinación – Trama urbana Ensanche.....92

Figura 56. Orientación de cubiertas – Tejido urbano Ensanche.....93

Figura 57. Porcentaje de cubiertas según tipo (plana o inclinada) y orientación – Tejido urbano Ensanche.....94

Figura 58. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano Ensanche .....96

Figura 59. Irradiación solar anual media en cubiertas por parcela – Tejido urbano Ensanche.....97

Figura 60. . Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta. Tejido urbano: Ensanche .....98

Figura 61. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela. Tejido urbano: Ensanche.....98

Figura 62. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada .....99

Figura 63. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada .....99

Figura 64. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada ..... 99

Figura 65. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano. Vivienda unifamilia aislada ..... 99

Figura 66. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada ... 100

Figura 67. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada ..... 101

Figura 68. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada ..... 102

Figura 69. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada ..... 102

Figura 70. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada ..... 102

Figura 71. . Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Viv. unifamiliar aislada ..... 103

Figura 72. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Viv. unifamiliar aislada ..... 103

Figura 73. . Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela ..... 103

Figura 74. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 104

Figura 75. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 104

Figura 76. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 104

Figura 77. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano. Vivienda unifamilia en hilera ..... 104

Figura 78. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: vivienda unifamiliar en hilera 105

Figura 79. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 106

Figura 80. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 106

Figura 81. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 106

Figura 82. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera ..... 107

Figura 83. . Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Viv. unifamiliar en hilera ..... 107

Figura 84. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Viv. unifamiliar en hilera ..... 107

Figura 85. . Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela. Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar en hilera ..... 108

Figura 86. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Casco Histórico ..... 108

Figura 87. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Casco Histórico ..... 108

Figura 88. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Casco Histórico ..... 109

Figura 89. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Casco Histórico ..... 109

Figura 90. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Casco histórico ..... 109

Figura 91. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Casco histórico ..... 110

Figura 92. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Casco histórico ..... 110

Figura 93. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Casco histórico ..... 110

Figura 94. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Casco histórico.. 111

Figura 95. . Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Casco histórico ..... 111

Figura 96. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Casco histórico ..... 111

Figura 97. . Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela. Tejido urbano: Casco histórico ... 111

Figura 98. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 112

Figura 99. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 112

Figura 100. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 112

Figura 101. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 112

Figura 102. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Parcelacion Periférica ..... 113

Figura 103. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 114

Figura 104. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 114

Figura 105. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 114

Figura 106. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 115

Figura 107. . Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 115

Figura 108. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 115

Figura 109. . Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela. Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 115

Figura 110. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Ensanche.. 116

Figura 111. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Ensanche ..... 116

Figura 112. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Ensanche ..... 116

Figura 113. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Ensanche ..... 116

Figura 114. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Ensanche ..... 117

Figura 115. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Ensanche ..... 118

Figura 116. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Ensanche ..... 118

Figura 117. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo:1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Ensanche ..... 118

Figura 118. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta ..... 119

Figura 119. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Ensanche ..... 119

Figura 120. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Ensanche ..... 119

Figura 121. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela ..... 120

Figura 122. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 120

Figura 123. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 120

Figura 124. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 121

Figura 125. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 121

Figura 126. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Bloque lineal ..... 121

Figura 127. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 122

Figura 128. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque lineal ..... 123

Figura 129. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubierta. Periodo:1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Bloque lineal ..... 123

Figura 130. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubierta ..... 123

Figura 131. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque lineal ..... 123

Figura 132. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Bloque lineal ..... 123

Figura 133. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela ..... 124

Figura 134. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque en H ..... 124

Figura 135. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque en H ..... 124

Figura 136. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque en H ..... 125

Figura 137. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque en H. 125

Figura 138. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Bloque en H ..... 125

Figura 139. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Bloque en H. 126

Figura 140. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque en H ..... 126

Figura 141. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo:1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Bloque en H ..... 126

Figura 142. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta ..... 127

Figura 143. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque en H ..... 127

Figura 144. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Bloque en H ..... 127

Figura 145. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela ..... 128

Figura 146. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Manzana Moderna ..... 128

Figura 147. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Manzana Moderna ..... 128

Figura 148. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Manzana moderna ..... 129

Figura 149. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Manzana moderna ..... 129

Figura 150. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Manzana moderna ..... 129

Figura 151. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Manzana moderna ..... 130

Figura 152. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Manzana moderna ..... 131

Figura 153. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Manzana moderna ..... 131

Figura 154. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta ..... 131

Figura 155. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Manzana moderna ..... 132

Figura 156. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Manzana moderna ..... 132

Figura 157. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela ..... 132

Figura 158.. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta según tipología de tejido urbano ($Wh/m^2$) ..... 134

Figura 159. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Bloque en H ..... 135

Figura 160. Irradiación anual – Tejido urbano: Bloque en H ..... 135

Figura 161. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar ..... 136

Figura 162. Irradiación anual – Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar ..... 136

Figura 163. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 137

Figura 164. Irradiación anual – Tejido urbano: Parcelación Periférica ..... 137

Figura 165. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Ensanche ..... 138

Figura 166. Irradiación anual – Tejido urbano: Ensanche ..... 138

Figura 167. Irradiación global anual sobre superficies "cuasi-óptimas" (orientadas al sur e inclinadas entre 20 y 40º) ..... 139

Figura 168. Efecto de los tejidos urbanos sobre la máxima Irradiación global anual sobre superficies "cuasi-óptimas" ..... 139

Figura 169. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de superfice de parcela según tipología de tejido urbano ($Wh/m^2$) ..... 140

Figura 170. Irradiación anual en cubiertas – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 141

Figura 171. Irradiación anual en cubiertas por parcela – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 141

Figura 172. Irradiación anual en cubiertas – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 142

Figura 173. Irradiación anual en cubiertas por parcela – Tejido urbano: Bloque Lineal ..... 142

Figura 174. Irradiación anual en cubiertas – Tejido urbano: Manzana Moderna ..... 143

Figura 175. Irradiación anual en cubiertas por parcela – Tejido urbano: Manzana Moderna ..... 143

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores anuales de irradiación global sobre superficie horizontal, sobre los planos de captación considerados (unidades: kWh/m$^2$) y factores de ganancia de captación solar de los planos considerados respecto de la superficie horizontal horizontal (unidades: adimensionales). ...26

Tabla 2. Resumen de los usos energéticos más importantes en el sector residencial en el periodo 2010-2017, expresados en porcentaje sobre el consumo final anual. ...38

Tabla 3. Cobertura de los usos energéticos por fuentes en el sector residencial: promedios anuales en 2010-2017. ...40

Tabla 4. Desglose de la fuente "Renovables" de la Tabla 3 en las energías contempladas en los datos oficiales. ...40

Tabla 5. Resumen de consumos energéticos en calefacción de los clústers representativos. ...43

Tabla 6. Presencia de cubiertas planas e inclinadas en los distintos clústers, ...47

Tabla 7. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas térmicas y solares definidas en el Código Técnico de la Edificación ...54

Tabla 8. Escenario 1: resumen de las coberturas de necesidades energéticas y generación de excedentes en las localidades seleccionadas. ...55

Tabla 9. Escenario 2: resumen de las coberturas de necesidades energéticas y generación de excedentes en las localidades seleccionadas. ...62

Tabla 10. Escenario 2: resumen de las coberturas de necesidades energéticas y generación de excedentes en las localidades seleccionadas. ...67

Tabla 11. Tipología y ubicación de tejidos urbanos analizados ...74

Tabla 12. Clasificación de los datos LIDAR ...85

Tabla 13. Valor medio de Irradiación por superficie de cubierta (kWh/m$^2$) según tejido y periodo del año ...138

Tabla 14. Valor medio de Irradiación por superficie de parcela (kWh/m$^2$) según tejido y periodo del año ...143

Tabla 15. Escenario 1: cobertura de las necesidades energéticas anuales considerando el efecto de los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid. ...144

Tabla 16. Escenario 2: cobertura de las necesidades energéticas anuales considerando el efecto de los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid. ...144

Tabla 17. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas anuales considerando el efecto de los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid. ...145

Tabla 18. Escenario 1: resultados de ocupación de cubiertas, cobertura de la demanda energética y generación de excedentes eléctricos ..... 147

Tabla 19. Escenario 2: resultados de cobertura de la demanda energética y generación de excedentes eléctricos ..... 147

Tabla 20. Escenario 3: resultados de cobertura de las necesidades energéticas y generación de excedentes eléctricos ..... 148

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe recoge los resultados del trabajo encargado por el Ministerio de Fomento a la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid para realizar un "*Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios residenciales españoles en su contexto urbano*".

Este informe nace de la necesidad, por parte del Ministerio de Fomento, de conocer la capacidad de aprovechamiento de las cubiertas de los edificios de viviendas para la generación de energía térmica y eléctrica mediante instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas. Posteriormente se pretende plantear la inclusión de estas soluciones en la nueva actualización de la "*Actualización de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España*" (ERESEE 2020).

Esta actualización responde al cumplimiento de lo establecido por el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE[1] sobre Eficiencia Energética, que obliga en su artículo 4 a los Estados Miembros a establecer una estrategia a largo plazo para movilizar inversiones en la renovación del parque nacional de edificios residenciales y comerciales, tanto públicos como privados, presentando una primera versión de dicha Estrategia en 2014, así como sucesivas actualizaciones que deben presentarse a la Comisión Europea cada 3 años. España ha dado cumplimiento a dicha obligación en dos ocasiones, en 2014, presentando la "Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la edificación en España, en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE" (ERESEE 2014), -que además fue la mejor evaluada de toda la UE según los estudios comparativos realizados por la propia Comisión- y, en 2017, mediante la presentación de la "Actualización de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España" (ERESEE 2017)[2]

## 1.1. Objetivo general del estudio

El objetivo general del trabajo es realizar un estudio sobre las posibilidades de aprovechamiento de la energía solar para satisfacer las necesidades energéticas de edificios residenciales, de distintas tipologías y situados en diferentes contextos urbanos, mediante instalaciones solares activas térmicas y fotovoltaicas ubicadas exclusivamente en las cubiertas. Parte de los resultados serán integrados en la "*Actualización de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el*

[1] DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE: https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf

[2] Actualización 2017 de la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/24003A4D-449E-4B93-8CA5-7217CFC61802/143398/20170524REVISIONESTRATEGIA.pdf

*sector de la edificación en España*" (ERESEE 2020), con la finalidad de establecer la viabilidad de fomentar políticas de la energía solar en las ciudades españolas en función de su potencial.

# 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y FUENTES DE INFORMACIÓN

En este punto se presenta la metodología propuesta para el desarrollo del *Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios residenciales españoles en su contexto urbano*.

Esta metodología se ha divido en tres grandes fases, una primera fase en la que se evalúa el recurso solar disponible y la capacidad de generación unitaria por provincia y ciudades autónomas, una segunda fase en la que se delimitan una serie de tejidos urbanos característicos del parque de viviendas español para evaluar su capacidad real de captación y, por tanto, de generación de energía, y una tercera fase en la que se contrastará la capacidad de producción de los edificios de viviendas en función de su contexto urbano y la estructura de demanda de los hogares españoles relativa a la calefacción, refrigeración, ACS y otros usos.

A continuación, se muestran las distintas etapas de trabajo que se han establecido para la consecución de los objetivos planteados.

## 2.1. Limitaciones y ámbito de estudio

En esta sección se presenta el ámbito de análisis y las limitaciones que se han establecido para el estudio.

- Delimitación geográfica: Los cálculos de la capacidad de generación de energía se han realizado para las 50 provincias y ciudades autónomas españolas.
- Delimitación urbana: La capacidad de generación de energía se ha calculado en base a las condiciones de las cubiertas de edificios representativos del parque residencial español y el contraste de las hipótesis consideradas (orientaciones, tipologías de cubiertas) en los tejidos urbanos más representativos, tomando como referencia la ciudad de Madrid.
- Delimitación arquitectónica: El estudio se suscribe únicamente al ámbito de las cubiertas de los edificios residenciales del parque de viviendas español. De este modo quedarán excluidos otro tipo de paramentos con capacidad de captación como, por ejemplo, las fachadas de los edificios.

## 2.2. Metodologia de Trabajo

Se ha realizado una **primera evaluación del recurso solar disponible y de la energía final resultado de aprovechar el recurso solar mediante instalaciones solares activas**. Tal y como se recoge en la sección 3 se ha estudiado, para cada una de las 52 capitales de provincia y 2 ciudades autónomas, el recurso solar disponible en los planos de captación asociados a los captadores solares (colectores solares térmicos y módulos fotovoltaicos) que podrían ubicarse en las cubiertas de 15 tipologías edificatorias representativas del parque residencial ("clústeres"[3] en adelante). A partir de este resultado, se ha obtenido la energía final esperable del aprovechamiento solar activo de las cubiertas, calculada como la energía útil que se podría obtener por cada metro cuadrado de cubierta.

La definición de los clústeres se encuentra detallada en el documento "*Aproximación a la demanda energética residencial en España*" (Arcas-Abella et al. 2018) para el Ministerio de Fomento. Conforme a esta clasificación, el parque de viviendas total se clasifica por año de construcción (construido antes de 1940, entre 1941 y 1960, entre 1961 y 1980, entre 1981 y 2007 y entre 2008 y 2011) y por tipología edificatoria (unifamiliar, plurifamiliar de entre 1 y 3 plantas y plurifamiliar de 4 plantas o más).

Figura 1 Matriz clústeres de viviendas.

| | Unifamiliares | Plurifamiliares | |
|---|---|---|---|
| | | 1 - 3 pl. | ≥ 4 pl. |
| ≤ 1940 | uU<40 | cC<40 | bB<40 |
| 1941-1960 | uU41-60 | cC41-60 | bB41-60 |
| 1961-1980 | uU61-80 | cC61-80 | bB61-80 |
| 1981-2007 | uU81-07 | cC81-07 | bB81-07 |
| 2008-2011 | uU08-11 | cC08-11 | bB08-11 |

Fuente: Elaboración propia.
Fuente: Arcas-Abella et al. 2018

En la sección 4 se presentan los **Sistemas de generación considerados para la cobertura de las necesidades energéticas.** Para ello se han analizado, en primer lugar, las necesidades y consumos energéticos de los hogares españoles, con el objeto de identificar los usos susceptibles de poder ser abastecidos mediante instalaciones solares. A continuación, se han definido tres escenarios de uso de las cubiertas por instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas y se ha determinado la cobertura de la demanda energética en cada caso, así como la posible generación de excedentes

[3] Ministerio de Fomento, 2019. Segmentación del parque residencial de viviendas en España en clústeres tipológicos. Estudio (01) para la ERSEE 2020 Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo.

eléctricos derivados de instalaciones solares fotovoltaicas cuya producción superase la demanda eléctrica del edificio asociado. En este sentido, los balances energéticos realizados entre demanda y generación se han realizado en términos anuales y semestrales. Los resultados se presentan en primer lugar de forma detallada para Madrid (con el objeto de facilitar la comprensión de la metodología), seguidamente de localidades representativas de las zonas climáticas españolas y, finalmente, del conjunto de localidades analizadas.

Una vez delimitada la capacidad de generación de energía final en base a modelos teóricos, en la sección 5 se ha analizado la capacidad de captación de energía solar en función del tejido urbano existente que, en último término, limitaría la generación de energía. Para ello, en primer lugar se han delimitado una serie de tramas urbanas "tipo" asociadas a cada uno de los 15 clústeres de edificios de viviendas. La selección de tejidos urbanos se ha planteado en base a investigaciones previas del equipo redactor de este estudio y está centrada en la ciudad de Madrid, ya que su extensión y complejidad urbana comprende gran diversidad de tipologías presentes en las ciudades españolas. A pesar de ello, en este estudio no está demostrado que los tejidos urbanos seleccionados sean representativos para el resto de contextos urbanos de la geografía española, cuya amplitud y extensión superan el alcance del presente trabajo.

La caracterización de las cubiertas de los edificios, en los ámbitos urbanos analizados, se ha realizado a partir de la descarga y procesado de los datos LIDAR (Light Detection And Ranging) y su análisis mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (ArcGis Pro), lo que ha permitido la generación del Modelo Digital de Superficie de las Cubiertas (MDSC). A partir de este modelado de superficies, basado en datos reales, se han calculado y analizado las inclinaciones y orientaciones de las cubiertas presentes en cada tejido urbano. Por último, se ha obtenido su capacidad de captación solar considerando, además, las obstrucciones solares existentes (sin tener en cuenta la vegetación urbana, dada su estacionalidad, diversidad y especificidad para cada caso). Este análisis de irradiación solar se ha realizado para tres periodos: Anual (1 de enero al 31 de diciembre), periodo de calefacción (1 de octubre al 31 de mayo) y periodo de refrigeración (1 de junio al 30 de septiembre)

Finalmente, se ha ajustado la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica y térmica, calculada de manera teórica, a los diferentes tejidos urbanos, obteniendo así la capacidad de generación de energía solar térmica y fotovoltaica real de los edificios residenciales en su contexto urbano.

# 3. RECURSO SOLAR Y ENERGÍA FINAL ESPERABLE

En esta sección se incluye un estudio sobre el recurso solar disponible en localidades seleccionadas representativas de la geografía española, así como el esperado sobre superficies captadoras dispuestas en las cubiertas de edificios característicos del parque edificatorio residencial existente. A partir de esta información se calcula la energía final esperable del aprovechamiento de dichas cubiertas mediante instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas en las localidades analizadas.

## 3.1. Estudio del recurso solar teórico

La realización de un estudio solar teórico tiene por objetivo evaluar el recurso solar disponible en los planos de captación asociados a las instalaciones solares activas térmicas y/o fotovoltaicas que se ubicarían en las cubiertas de edificios representativos de tipologías edificatorias residenciales y periodos de construcción ("clústeres" en adelante) definidos en estudios anteriores[4,5].

Para ello se describen en primer lugar las fuentes de datos y modelos empleados para los cálculos del recurso solar para, a continuación, indicar los planos de captación escogidos para los captadores solares. Se presentan seguidamente los resultados obtenidos en el conjunto de la geografía española y las conclusiones asociadas al estudio de recurso solar.

### 3.1.1. Modelado del recurso solar

El modelado de recuso solar adoptado ha consistido, en primer lugar, en el análisis y selección de fuentes de datos de radiación solar de las localidades bajo estudio consideradas representativas de la geografía española (capitales de provincia y ciudades autónomas). Por otra parte, en la elección de un procedimiento para calcular, a partir de los datos, el recurso solar disponible en los planos de captación asociados a las instalaciones solares activas.

En la actualidad, existe una notable diversidad de fuentes de datos de radiación solar, muchas de ellas accesibles a través de herramientas de simulación de sistemas solares activos o directamente

[4] Ministerio de Fomento, "Estudio de la distribución del consumo energético residencial para calefacción en España". Diciembre de 2017.

[5] Ministerio de Fomento, "Aproximación a la demanda energética residencial para calefacción en España". Diciembre de 2018.

proporcionadas por Agencias meteorológicas y servicios de provisión de datos meteorológicas. En el caso que nos ocupa se ha escogido la fuente de datos elaborada por la Agencia Estatal de Meteorología[6] la cual proporciona, para las capitales de provincia y ciudades autónomas españolas, los promedios diarios de irradiación (energía incidente por unidad de superficie) global y directa incidentes sobre una superficie horizontal representativos de cada mes.

Para la trasposición de los datos de partida a los valores de irradiación global incidente sobre superficies inclinadas se han empleado procedimientos y modelos ampliamente avalados por la literatura científica:

- Descomposición de los datos de partida (irradiación global, directa y difusa, obtenida esta última como diferencia de las anteriores) en base horaria, suponiendo valores constantes de irradiación solar en cada hora.
- Consideraciones geométricas para el cálculo de los valores horarios de irradiación directa sobre superficie inclinada en función de la posición relativa de la superficie con respecto al sol.
- Modelo anisotrópico para el cálculo de los valores horarios de irradiación difusa sobre superficie inclinada[7].
- Modelo de reflectancia uniforme del entorno para el cálculo de los valores horarios de irradiación reflejada sobre superficie inclinada.
- Integración de los valores horarios de las componentes anteriores para la obtención de los promedios diarios de irradiación incidente sobre superficie inclinada representativos de cada mes.

### 3.1.2. Hipótesis adoptadas

Para la definición de superficies susceptibles de albergar los captadores solares de las instalaciones solares activas (colectores solares térmicos y módulos fotovoltaicos para instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas respectivamente) se han adoptado distintas hipótesis que tienen como objetivo obtener unos resultados representativos de situaciones promedio en el conjunto del parque edificatorio residencial español. Estas son:

- Tipología de las cubiertas de los clústers: se considera la existencia de cubiertas planas e inclinadas un ángulo de 30º [8].

[6] Agencia Estatal de Meteorología, ""Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT", 2012.

[7] Richard Perez, Robert Seals, "A new simplifed version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces". Solar Energy 39 (3), 1987.

[8] Hipótesis de trabajo empleadas por el Ministerio de Fomento para la "Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España. Actualización 2020"

- Orientación de los edificios: se consideran 2 orientaciones, Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-O), repartidas con idéntico factor de ponderación (50% en ambos casos) en el conjunto de edificios[5]. Esto supone que, si bien se realizan cálculos de recurso solar incidente en cubiertas con las dos posibles orientaciones, en el resultado final asignado a cada clúster se ponderarán al 50% los resultados obtenidos para cada orientación.

- Elección de planos de captación solar:

    - En el caso de cubiertas planas, se consideran planos de captación inclinados 30º con respecto del plano horizontal. Esta inclinación, si bien no coincide exactamente con la que proporciona la máxima captación anual[9] en todas las localidades analizadas, permite captar más del 98% del máximo o, lo que es lo mismo, supone unas pérdidas de captación con respecto del ángulo óptimo inferiores al 2%, valor que está dentro del margen de incertidumbre de los datos y modelos empleados. En lo que respecta a la orientación, se considera en todos los casos orientación sur, ya que además de ser idónea para la captación solar coincidiría con los ejes principales de las cubiertas, tanto si los edificios están orientados N-S como si lo están E-O.

    - En el caso de cubiertas inclinadas se considera un plano de captación paralelo a las cubiertas (es decir, con su misma orientación e inclinación) con la excepción de las cubiertas orientadas al norte. La razón de esta excepción es el hecho de que un plano orientado al norte e inclinado 30º presenta unas pérdidas de captación solar anuales con respecto al orientado al sur superior al 40% en más del 95% de las localidades analizadas[10].

### 3.1.3. Resultados y conclusiones

Se muestran a continuación los resultados del estudio del recurso solar existente en las distintas provincias (representadas por sus capitales) y ciudades autónomas. En primer lugar, se representan en la Figura 2 los valores anuales de irradiación global incidente sobre una superficie horizontal, así sobre los planos de captación definidos anteriormente. La nomenclatura adoptada es la siguiente:

- $G_a(0)$ es la irradiación global anual sobre superficie horizontal;

- $G_a(0,30º)$ es la irradiación solar global anual sobre una superficie orientada a sur e inclinada 30º respecto del plano horizontal;

[9] Se entiende en este informe por "máxima captación anual" la que proporciona una superficie fija durante todo el año. Se excluyen por tanto estrategias de seguimiento solar que, si bien proporcionan mayores niveles de captación, hoy por hoy no se emplean en instalaciones solares activas ubicadas en edificios.

[10] La excepción la constituyen las localidades representativas de las Islas Canarias, donde las pérdidas son del 37%.

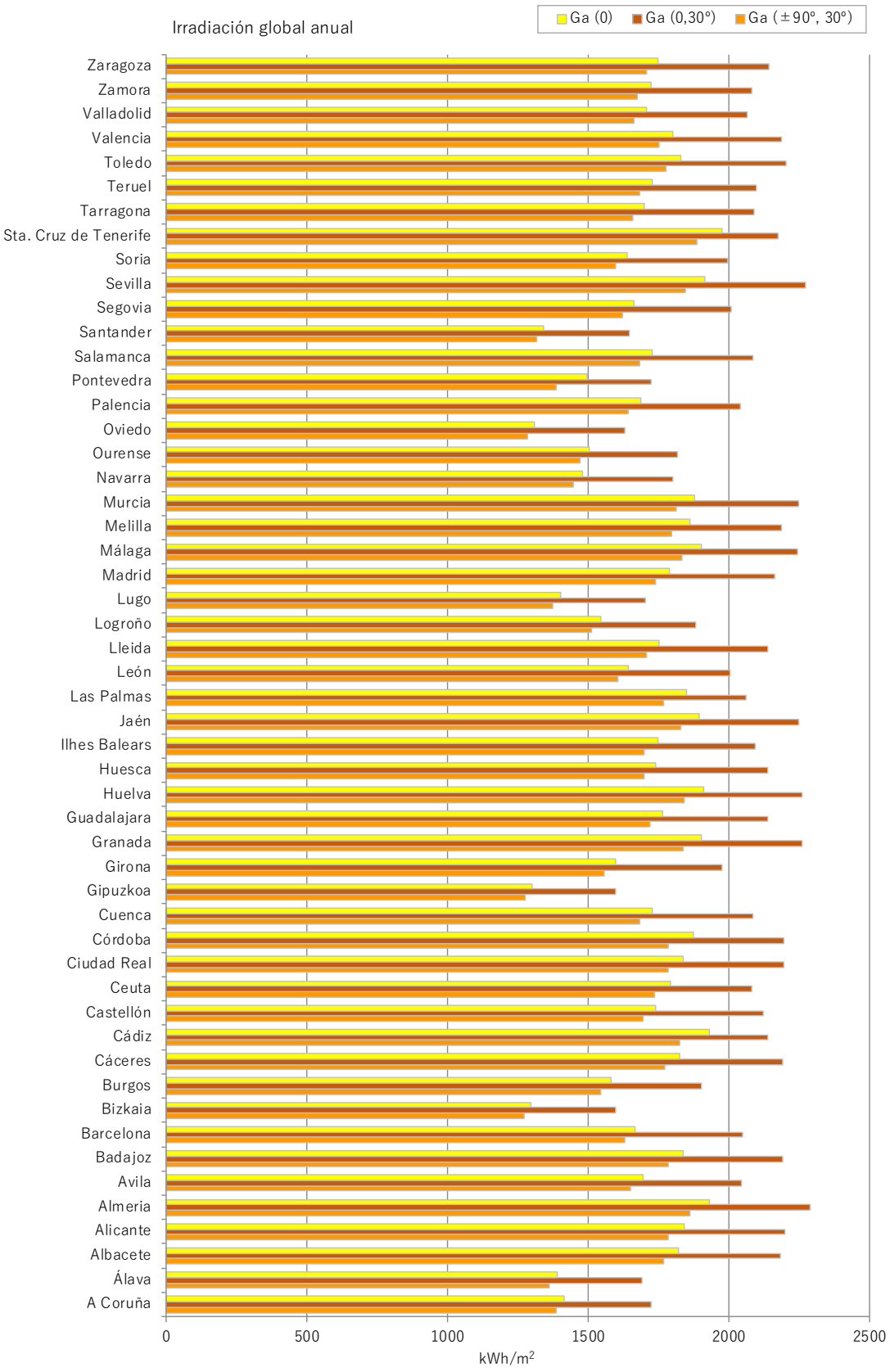
- $G_a(\pm 90º,30º)$ es la irradiación solar global anual sobre una superficie orientada este u oeste e inclinada 30º respecto del plano horizontal. En virtud de la simetría del movimiento aparente del sol respecto de la superficie terrestre, los resultados son idénticos para ambas orientaciones.

El Anexo I recoge los promedios diarios de irradiación global mensual incidente sobre superficies horizontales e inclinadas 30º con las orientaciones consideradas (sur, este y oeste), a partir de los cuales se han obtenido los valores anuales.

La Tabla 1 muestra los valores representados en la figura anterior, así como dos factores que representan las ganancias o pérdidas de captación solar de las superficies inclinadas consideradas con respecto a la superficie horizontal, de acuerdo a la siguiente nomenclatura:

- FG(0,30º) representa la ganancia de captación solar (factor>1) de una superficie orientada a sur e inclinada 30º respecto de la horizontal, calculadas como $G_a(0,30º)/G_a(0)$;
- $FG(\pm 90º,30º)$ representa la pérdida de captación solar (factor<1) de una superficie orientada este u oeste e inclinada 30º respecto de la horizontal, calculada como $G_a(\pm 90º,30º)/G_a(0)$.

Figura 2. Recurso solar anual sobre superficie horizontal y sobre los planos de captación definidos,




Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Valores anuales de irradiación global sobre superficie horizontal, sobre los planos de captación considerados (unidades: kWh/m$^2$) y factores de ganancia de captación solar de los planos considerados respecto de la superficie horizontal horizontal (unidades: adimensionales).

| Provincia/Ciudad autónoma | $G_a(0)$ | $G_a(0,30º)$ | $G_a(\pm 90º,30º)$ | FG(0,30º) | FG(±90º,30º) |
|---|---|---|---|---|---|
| A Coruña | 1.413 | 1.721 | 1.385 | 1,22 | 0,98 |
| Albacete | 1.389 | 1.690 | 1.361 | 1,22 | 0,98 |
| Alicante | 1.820 | 2.183 | 1.767 | 1,20 | 0,97 |
| Almeria | 1.840 | 2.199 | 1.785 | 1,20 | 0,97 |
| Avila | 1.931 | 2.287 | 1.862 | 1,18 | 0,96 |
| Badajoz | 1.693 | 2.046 | 1.648 | 1,21 | 0,97 |
| Barcelona | 1.836 | 2.192 | 1.781 | 1,19 | 0,97 |
| Bizkaia | 1.666 | 2.048 | 1.627 | 1,23 | 0,98 |
| Burgos | 1.295 | 1.596 | 1.272 | 1,23 | 0,98 |
| Cáceres | 1.578 | 1.900 | 1.542 | 1,20 | 0,98 |
| Cádiz | 1.825 | 2.191 | 1.773 | 1,20 | 0,97 |
| Castellón | 1.932 | 2.139 | 1.822 | 1,11 | 0,94 |
| Ceuta | 1.739 | 2.123 | 1.694 | 1,22 | 0,97 |
| Ciudad Real | 1.793 | 2.080 | 1.733 | 1,16 | 0,97 |
| Córdoba | 1.837 | 2.193 | 1.782 | 1,19 | 0,97 |
| Cuenca | 1.874 | 2.193 | 1.782 | 1,17 | 0,95 |
| Girona | 1.728 | 2.086 | 1.681 | 1,21 | 0,97 |
| Granada | 1.299 | 1.595 | 1.277 | 1,23 | 0,98 |
| Guadalajara | 1.595 | 1.975 | 1.556 | 1,24 | 0,98 |
| Huelva | 1.901 | 2.257 | 1.835 | 1,19 | 0,97 |
| Huesca | 1.764 | 2.135 | 1.717 | 1,21 | 0,97 |
| Jaén | 1.908 | 2.259 | 1.841 | 1,18 | 0,96 |
| Las Palmas | 1.738 | 2.137 | 1.699 | 1,23 | 0,98 |
| León | 1.746 | 2.094 | 1.697 | 1,20 | 0,97 |
| Lleida | 1.892 | 2.248 | 1.827 | 1,19 | 0,97 |
| Logroño | 1.849 | 2.058 | 1.766 | 1,11 | 0,95 |
| Lugo | 1.642 | 2.003 | 1.605 | 1,22 | 0,98 |
| Madrid | 1.752 | 2.136 | 1.708 | 1,22 | 0,97 |
| Málaga | 1.544 | 1.880 | 1.510 | 1,22 | 0,98 |
| Melilla | 1.403 | 1.703 | 1.373 | 1,21 | 0,98 |
| Murcia | 1.786 | 2.162 | 1.738 | 1,21 | 0,97 |
| Ourense | 1.900 | 2.243 | 1.832 | 1,18 | 0,96 |
| Oviedo | 1.859 | 2.187 | 1.797 | 1,18 | 0,97 |
| Palencia | 1.876 | 2.247 | 1.813 | 1,20 | 0,97 |
| Illes Balears | 1.478 | 1.798 | 1.446 | 1,22 | 0,98 |
| Navarra | 1.502 | 1.814 | 1.469 | 1,21 | 0,98 |
| Pontevedra | 1.306 | 1.627 | 1.284 | 1,25 | 0,98 |
| Salamanca | 1.686 | 2.041 | 1.640 | 1,21 | 0,97 |
| Gipuzkoa | 1.494 | 1.721 | 1.385 | 1,15 | 0,93 |
| Santa Cruz de Tenerife | 1.727 | 2.084 | 1.681 | 1,21 | 0,97 |
| Santander | 1.339 | 1.645 | 1.315 | 1,23 | 0,98 |
| Segovia | 1.663 | 2.006 | 1.620 | 1,21 | 0,97 |
| Sevilla | 1.912 | 2.272 | 1.846 | 1,19 | 0,97 |
| Soria | 1.638 | 1.995 | 1.598 | 1,22 | 0,98 |
| Tarragona | 1.974 | 2.173 | 1.885 | 1,10 | 0,95 |
| Teruel | 1.699 | 2.087 | 1.657 | 1,23 | 0,98 |
| Toledo | 1.728 | 2.098 | 1.682 | 1,21 | 0,97 |

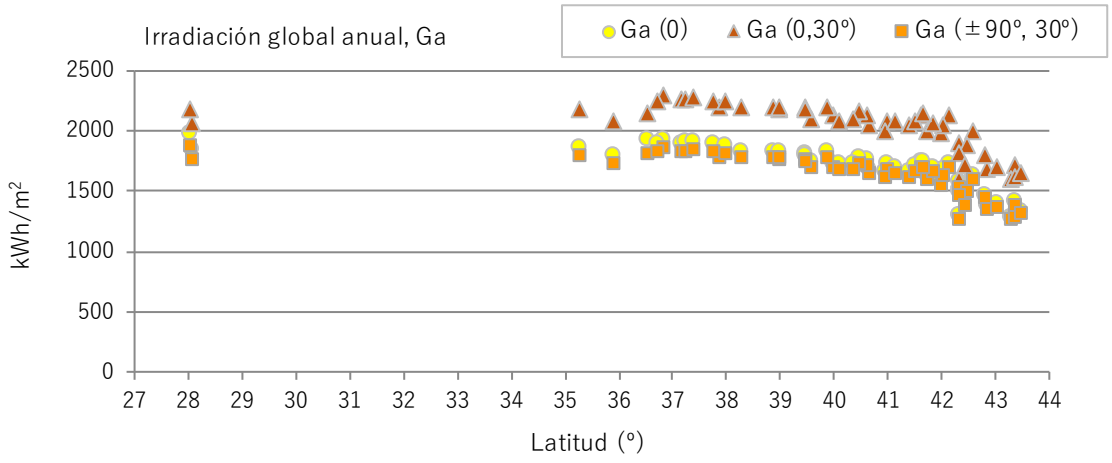
| Provincia/Ciudad autónoma | $G_a(0)$ | $G_a(0,30º)$ | $G_a(\pm 90º,30º)$ | FG(0,30º) | FG(±90º,30º) |
|---|---|---|---|---|---|
| Valencia | 1.828 | 2.204 | 1.777 | 1,21 | 0,97 |
| Valladolid | 1.800 | 2.187 | 1.752 | 1,22 | 0,97 |
| Álava | 1.705 | 2.062 | 1.660 | 1,21 | 0,97 |
| Zamora | 1.721 | 2.079 | 1.675 | 1,21 | 0,97 |
| Zaragoza | 1.748 | 2.141 | 1.705 | 1,22 | 0,98 |
| Promedio | 1.704 | 2.043 | 1.653 | 1,20 | 0,97 |
| Máximo | 1.974 | 2.287 | 1.885 | 1,25 | 0,98 |
| Mínimo | 1.295 | 1.595 | 1.272 | 1,10 | 0,93 |
| Desviación Estándar (% del Promedio) | 11% | 10% | 10% | 3% | 1% |

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, el recurso solar anual disponible para superficies orientadas a sur e inclinadas 30º está comprendido entre 1.595 y 2.287 kWh/m$^2$, siendo el promedio 2.043 kWh/m$^2$ y la dispersión de resultados (desviación estándar) de un 10%.. Esto supone una ganancia de captación solar comprendida entre el 10% y el 25% del recurso solar incidente sobre superficies horizontales (respectivamente, valores de FG(0,30º)=1,10 y 1,25), siendo la ganancia promedio un 20% (FG(0,30º)=1,20) y la dispersión de resultados de un 3%. En el caso de superficies orientadas al este u oeste e inclinadas 30º, el recurso solar anual disponible está comprendido entre 1.272 y 1.705 kWh/m$^2$, siendo el promedio 1.653 kWh/m$^2$ y la dispersión de resultados similar al caso anterior. En este caso se produce una ligera disminución del recurso solar comparado con el incidente sobre superficies horizontales (entre un 2 y un 7%, FG(±90º,30º) entre 0,98 y 0,93), siendo la disminución promedio un 3% (FG(±90º,30º)=0,97) y la dispersión de resultados un 1%.

La Figura 3 representa los valores del recurso solar anual en función de la latitud de las localidades analizadas. Como era de esperar, se aprecia una tendencia de disminución del recurso conforme aumenta la latitud, disminución que no es lineal, ya que existen otros factores asociados a los microclimas locales que influyen en la disponibilidad del recurso solar.

Figura 3. Recurso solar anual sobre distintas superficies en función de la latitud de las localidades analizadas.




Fuente: Elaboración propia.

Como resultados del estudio del recurso solar realizado, cabe mencionar:

- Se puede calificar de excelente el potencial solar de la geografía española, ya que Incluso aquellas localidades con menor disponibilidad presentan valores de irradiación solar mejores que localidades situadas en países europeos con mercados maduros de instalaciones solares activas en edificios, como es el caso de Alemania o Francia[11].
- Los resultados del recurso solar disponible sobre los planos de cubierta analizados validan el interés de las superficies inclinadas con orientaciones diferentes de la sur, lo que incrementa las posibilidades de aprovechamiento de cubiertas edificatorias con orientaciones diversas como las que se encuentran en las ciudades.

## 3.2. Energía final esperable del aprovechamiento solar activo de cubiertas

El cálculo de la energía final esperable del aprovechamiento de las cubiertas de los edificios representativos tiene por objetivo cuantificar la energía útil que se podría obtener por cada metro cuadrado de cubierta, de forma que se pueda calcular posteriormente la cobertura de las necesidades energéticas de los edificios, según distintos escenarios de uso de sus cubiertas. En este sentido, se ha escogido como factor de normalización la superficie de cubierta y no otras variables tales como superficie de los captadores solares o potencia de estos.

En este apartado se describen, en primer lugar, las hipótesis de aprovechamiento de cubiertas adoptadas, los resultados en términos de energía útil esperable (kWh térmicos y kWh eléctricos en el caso de aprovechamiento mediante colectores solares térmicos y módulos fotovoltaicos respectivamente) y, finalmente, las conclusiones que pueden derivarse.

### 3.2.1. Hipótesis adoptadas

Para el aprovechamiento solar activo de las cubiertas de los edificios representativos (“clústeres”) se adoptan las siguientes hipótesis:

- Distribución de captadores solares en cubiertas planas:
    - Se considera una distribución en filas paralelas inclinadas 30º, inclinación que como se ha mencionado anteriormente, constituye una aproximación razonable del ángulo óptimo de inclinación para maximizar la captación solar anual. La

[11] Joint Research Centre, mapa “Solar radiation in Africa, Europe and Asia”, European Union, 2015. https://re.jrc.ec.europa.eu

distancia de separación entre filas es tal que mantiene las pérdidas anuales por sombras (entre adyacentes) en el entorno del 5% y permite el acceso necesario a los captadores solares para tareas de mantenimiento.

  - En lo que respecta a la orientación de los captadores, como se ha mencionado anteriormente dadas las orientaciones de los edificios se considera en todos los casos la sur.

- Distribución de captadores solares en cubiertas inclinadas:

  - Se considera que los captadores solares se superponen a las cubiertas en un único plano, manteniéndose los mismos ángulos de inclinación y orientación que estas. Como se ha indicado anteriormente, se excluye el aprovechamiento de cubiertas orientadas al norte.

- Rendimiento global de las instalaciones solares térmicas: se considera una relación entre la energía térmica entregada en los puntos de consumo y la energía solar incidente en los colectores solares térmicos del 30% en términos anuales, representativo de instalaciones en las que tanto la acumulación solar como el apoyo auxiliar sean distribuidas[12].

- Rendimiento global de las instalaciones solares fotovoltaicas: se considera una relación entre la energía eléctrica entregada en el punto de inyección y la energía solar incidente en los módulos fotovoltaicos del 16% en términos anuales, representativo de instalaciones actuales[13].

### 3.2.2. Resultados y conclusiones

Se muestran a continuación, gráficamente, los resultados derivados del aprovechamiento de las cubiertas mediante instalaciones solares activas, expresados en forma de energía final normalizada respecto de la superficie de cubierta (energía útil por metro cuadrado de cubierta) para las distintas provincias y ciudades autónomas.

En la Figura 4 y Figura 5 se muestran la energía final esperable de un uso solar térmico de cubiertas planas e inclinadas, respectivamente. Al igual que en el estudio del recurso solar, también aquí debido a la simetría del movimiento aparente del sol los resultados para las orientaciones este y oeste de las cubiertas son idénticos. Del análisis estadístico de los resultados detallados (véase Anexo I) se infiere que la energía térmica por metro cuadrado de cubierta plana oscila entre 228 y 325 kWh térmicos, siendo el promedio 291 kWh/m$^2$, En el caso de cubiertas inclinadas 30º y orientadas al sur los resultados oscilan entre 481 y 683 kWh/m$^2$, siendo el promedio 613 kWh/m$^2$. En las cubiertas inclinadas orientadas al este/oeste los resultados oscilan

[12] Esta configuración, si bien no es la más eficiente, sería la esperable en rehabilitación de viviendas de forma general.

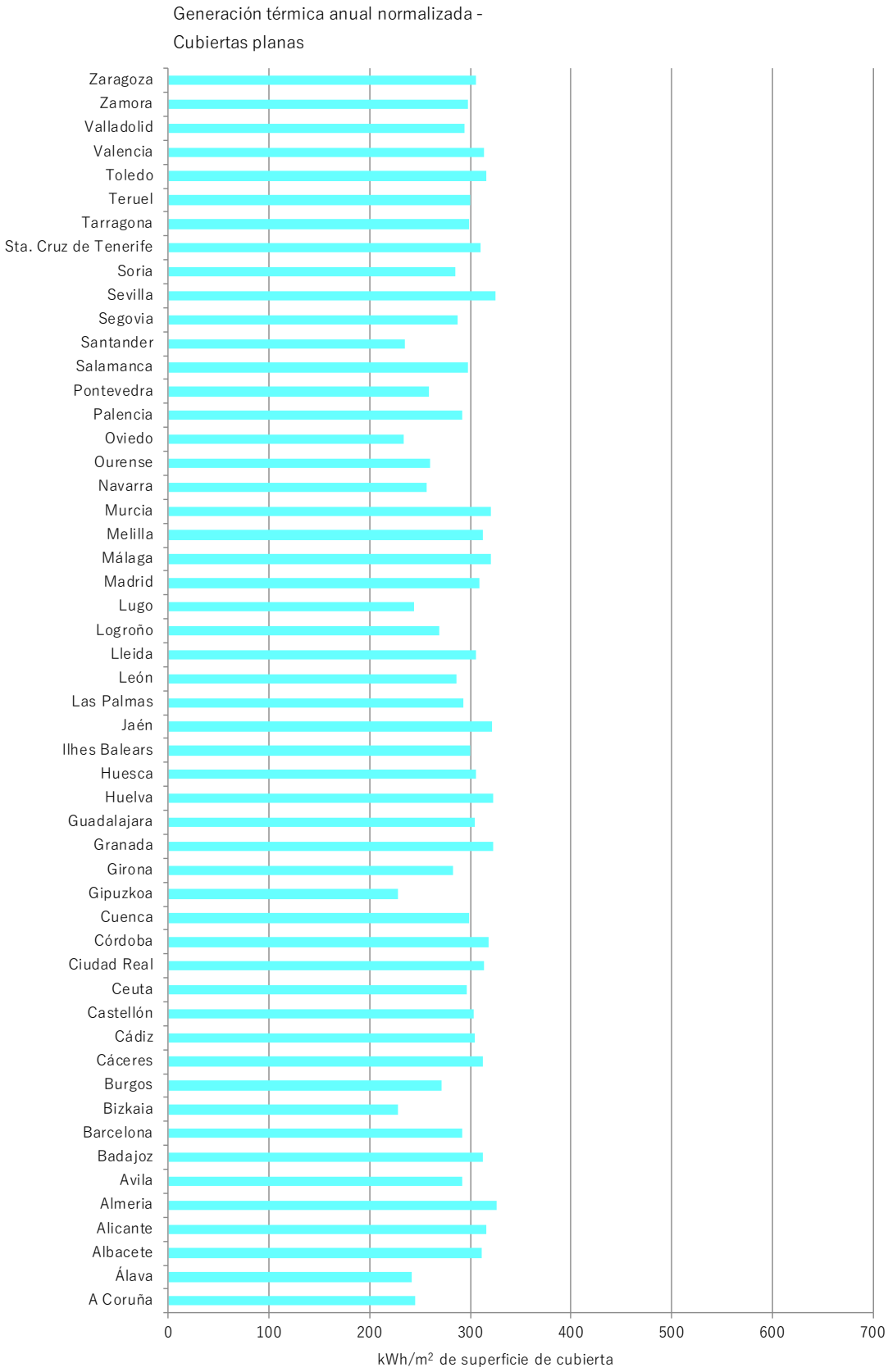
[13] Supone un rendimiento de conversión de los módulos fotovoltaicos del 20% y un rendimiento característico del resto del sistema (parámetro “Performance Ratio”) del 80%.

entre 395 y 550 kWh/m$^2$, siendo el promedio 498 kWh/m$^2$. La dispersión de resultados, medida a través de la desviación estándar, es comparable a la del recurso solar (un 9% con respecto a los promedios respectivos).

En la Figura 6 y Figura 7 se muestran la energía final esperable de un uso solar fotovoltaico de cubiertas planas e inclinadas, respectivamente. Como era de esperar, el menor rendimiento energético considerado de las instalaciones fotovoltaicas con respecto a las térmicas da como resultados una producción de energía final inferior. Así, del análisis estadístico de los resultados (Anexo I) se concluye que, en cubiertas planas, la energía eléctrica por metro cuadrado de cubierta oscila entre 122 y 173 kWh, siendo el promedio 155 kWh/m$^2$. En cubiertas inclinadas 30º y orientadas al sur los resultados oscilan entre 257 y 364 kWh/m$^2$, con un promedio de 327 kWh/m$^2$. En cubiertas inclinadas orientadas al este/oeste los resultados oscilan entre 211 y 293 kWh/m$^2$, siendo el promedio 265 kWh/m$^2$. En todos los casos la desviación estándar de los resultados es de un 9% con respecto a los promedios respectivos.

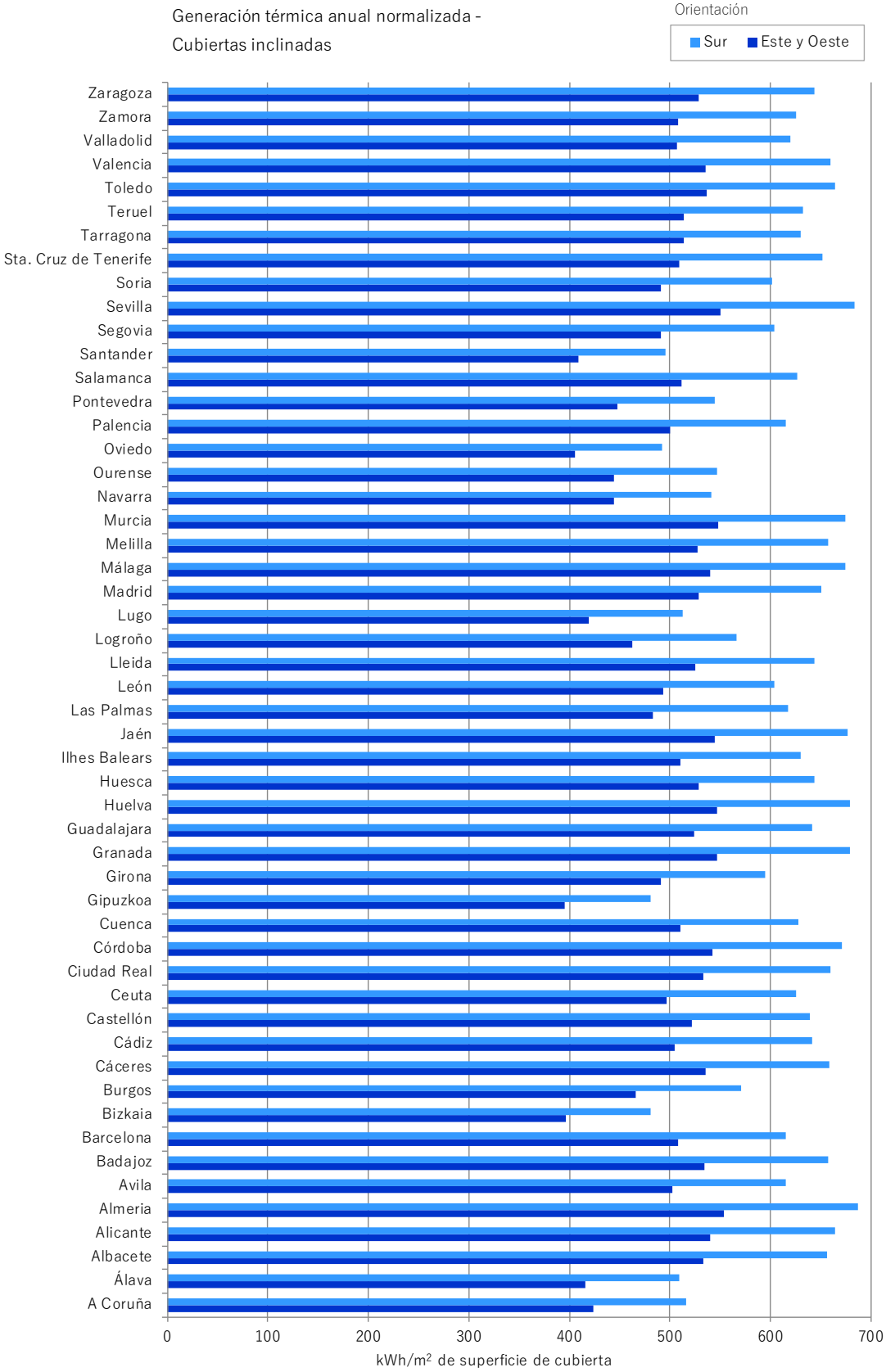
Por último, la Figura 8 muestra, en función de la latitud de las localidades analizadas, la energía final esperable normalizada suponiendo un uso solar térmico y fotovoltaico de las cubiertas (figuras a y b, respectivamente). También aquí, como era de esperar, se observa una disminución de la producción de energía final conforme aumenta la latitud,

Figura 4. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas planas mediante colectores térmicos.



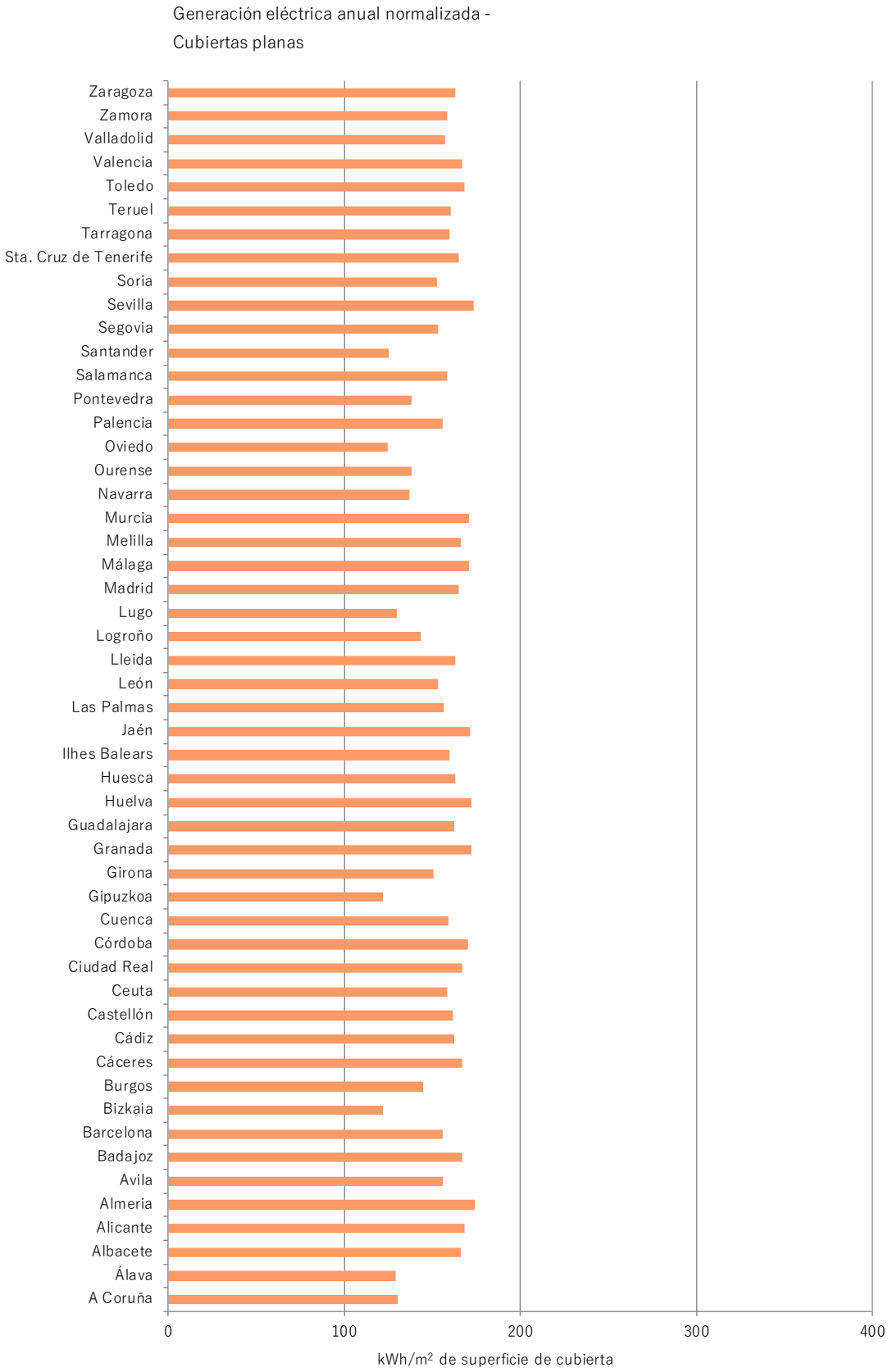

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas inclinadas mediante colectores térmicos.



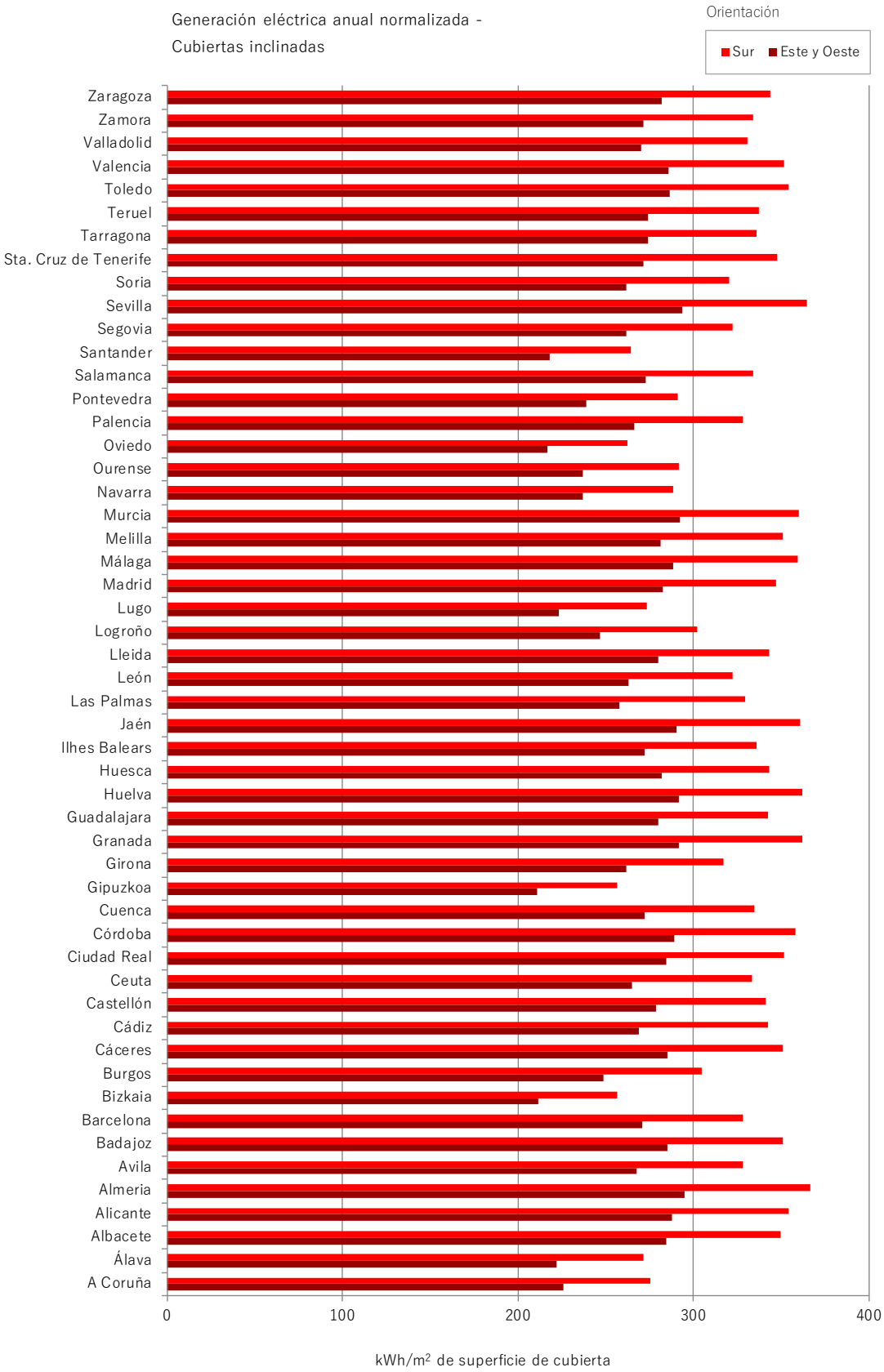

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas planas mediante módulos fotovoltaicos.



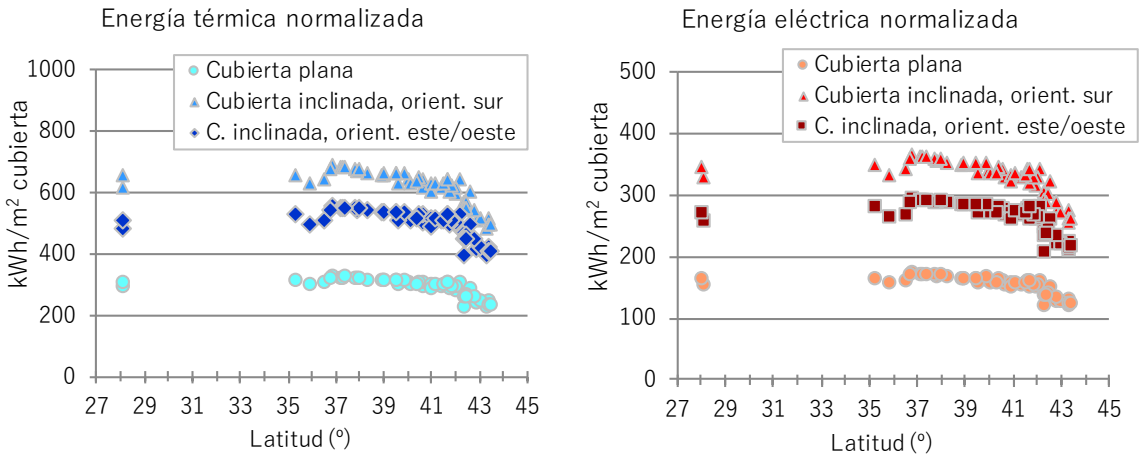

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento de cubiertas inclinadas mediante módulos fotovoltaicos.




Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Energía final normalizada asociada al aprovechamiento solar de cubiertas en función de la latitud de las localidades analizadas.




(a) Uso solar térmico

(b) Uso solar fotovoltaico

Fuente: elaboración propia.

A modo de conclusión sobre las capacidades de generación de energía final según los dos tipos de aprovechamiento solar planteados, cabe mencionar:

- En general, se obtiene una mayor generación de energía en los aprovechamientos térmicos que en los fotovoltaicos, dados los mayores rendimientos globales actuales de las instalaciones solares térmicas comparadas con las fotovoltaicas. En particular, el aprovechamiento solar fotovoltaico es un 53% del solar térmico, bajo las hipótesis de rendimientos consideradas.

- De la comparación de distintos tipos de cubiertas, la energía esperable de cubiertas planas es inferior a la de cubiertas inclinadas, bajo la suposición de que las instalaciones diseñadas optimicen la generación en términos anuales. Esto es debido a la necesidad de espaciar las distribuciones de captadores solares en cubiertas planas para evitar pérdidas excesivas por sombras, lo que no sucede en las cubiertas inclinadas, en las que los captadores se disponen en planos paralelos a estas. Así, tomando como referencia la producción de energía final de instalaciones solares en cubiertas planas, en el caso de cubiertas inclinadas 30º y orientadas al sur la generación se incrementa en un factor ligeramente superior al 200% (211%), y si la orientación es este/oeste el incremento es algo menor, un 171%.

Conviene recordar que los resultados anteriores se corresponden con tipologías de cubiertas libres de sombras producidas por elementos presentes en las cubiertas (tales como casetones, mansardas, elementos de instalaciones, etc.) o por edificios u otros elementos colindantes.

# 4. SISTEMAS DE GENERACIÓN PARA LA COBERTURA DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

En esta sección se identifica el potencial que presenta el uso de la energía solar en tipologías de edificios residenciales para suministrar sus necesidades energéticas. Para ello se considera el aprovechamiento solar activo de sus cubiertas mediante instalaciones solares activas (solares térmicas y fotovoltaicas) hibridadas con sistemas de climatización y producción de agua caliente sanitaria. Se define en primer lugar la demanda energética de los edificios tipo "clúster". Se analizan después distintos escenarios de aprovechamiento solar de las cubiertas y se determinan las posibilidades de generación y cobertura de la demanda de los edificios.

## 4.1. Necesidades energéticas de los edificios residenciales

### 4.1.1. Usos energéticos del sector residencial

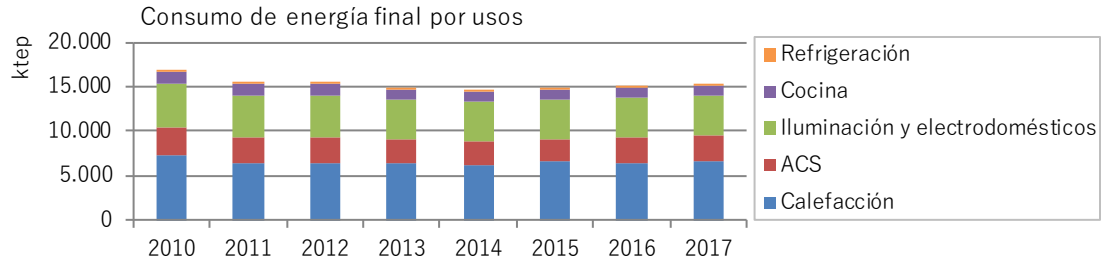
La realización del estudio de cobertura de las necesidades energéticas de edificios residenciales por parte de sistemas solares activos parte del conocimiento de dichas necesidades y de la viabilidad y oportunidad de los sistemas para su satisfacción. En este sentido, informes previos publicados sobre la Estrategia para la Rehabilitación energética del sector de la edificación en España (ERESEE)[14,15] han definido los principales usos energéticos en los edificios residenciales: calefacción, agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos, cocina y refrigeración. En este sentido, la figura siguiente muestra la evolución del consumo en el sector residencial desagregado por usos energéticos en el periodo 2010-2017, a partir de datos publicados por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE)[16]: en la figura (a) se muestran los valores absolutos del consumo de energía final, y en la (b) el porcentaje que representó cada uso en los años referidos.

[14] Ministerio de Fomento, "Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE", 2014.

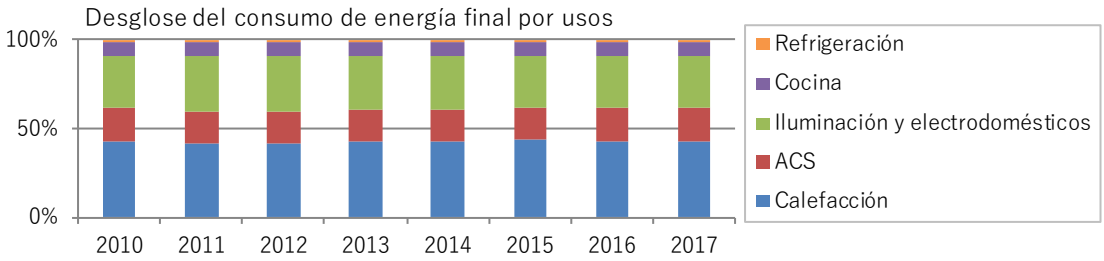
[15] Ministerio de Fomento, "ERESEE 2017 – Actualización 2017 – De la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España", 2017.

[16] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, "Consumos de energía final por usos del sector residencial (2010 – 2017)".

Figura 9. Evolución del consumo energético del sector residencial desagregado por usos en el periodo 2010-2017




(a) Consumo absoluto de energía final por usos




(b) Desglose del consumo de energía final por usos

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Como puede observarse, tras una disminución del consumo total en el periodo 2010-2014 se aprecia una inversión de la tendencia y un incremento del consumo en los años siguientes. No obstante, en 2017 los niveles de consumo continuaban siendo inferiores a los de 2010 y 2011 (respectivamente, un 9% y un 2% menos), lo que podría reflejar una cierta recuperación tras el inicio de la crisis económica, así como mejoras en la eficiencia de los equipamientos de los hogares.

Un análisis detallado sobre la importancia relativa de los distintos usos arroja los siguientes resultados, resumidos en la Tabla 2:

- La calefacción es el uso más importante, con un peso promedio del 43% sobre el consumo final anual en el periodo analizado, con valores comprendidos entre el 42% y el 44% en los distintos años.
- A continuación le sigue el uso de iluminación y los electrodomésticos, con un peso promedio del 30% (valores comprendidos entre el 29 y el 31% en los distintos años).
- El tercer uso lo constituye el agua caliente sanitaria, con un peso promedio del 19% (y valores comprendidos entre el 18 y el 20% en los distintos años).
- La cocina representa el cuarto uso, con un peso promedio del 8% (valores comprendidos entre el 7 y el 8% en los distintos años).
- El quinto uso lo constituye la refrigeración, con un peso promedio del 1%.

En definitiva, se infiere que más del 90% del consumo de energía final en los hogares se destina a satisfacer las necesidades de calefacción, agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos.

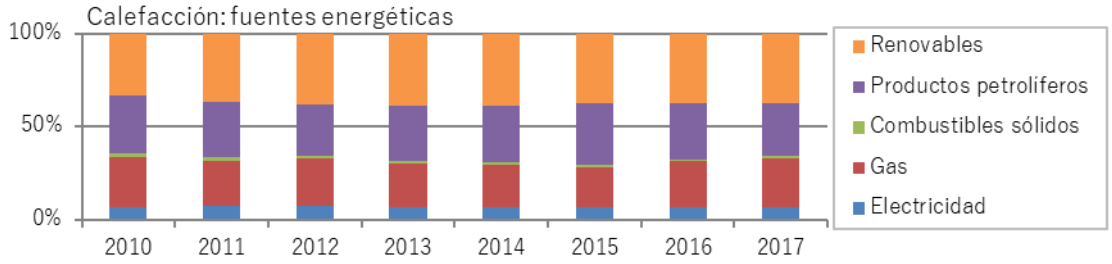
Tabla 2. Resumen de los usos energéticos más importantes en el sector residencial en el periodo 2010-2017, expresados en porcentaje sobre el consumo final anual.

| | Calefacción | Iluminación y electrodomésticos | Agua caliente sanitaria | Cocina | Refrigeración |
|---|---|---|---|---|---|
| Promedio anual | 43% | 30% | 19% | 8% | 1% |
| Rango de valores anuales | 42% - 44% | 29% - 31% | 18% - 20% | 7% - 8% | 1% |

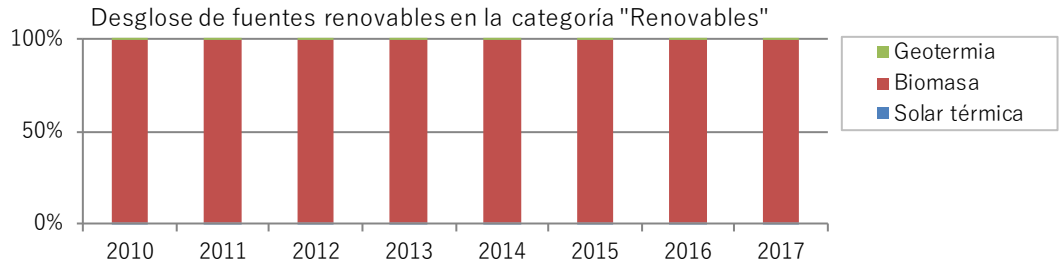
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Otro aspecto importante es analizar la cobertura de las necesidades energéticas de los hogares por parte de distintas fuentes energéticas, con el objeto de identificar el grado de penetración de fuentes de energía renovable. Esta información se muestra en las figuras siguientes para los usos de calefacción, agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos, cocina y refrigeración. En cada caso se muestra en la figura (a) el porcentaje de cobertura por parte de las distintas fuentes de energía, y en la figura (b) el desglose de la fuente denominada "Renovables" en las categorías: solar térmica, biomasa y geotermia.

Figura 10. Evolución de la cobertura del uso energético de calefacción en el periodo 2010-2017



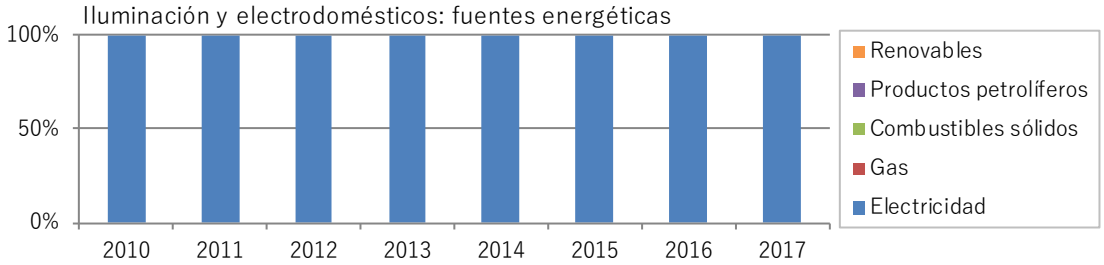

(a) Desglose por fuentes energéticas




(b) Desglose de la fuente "Renovables"

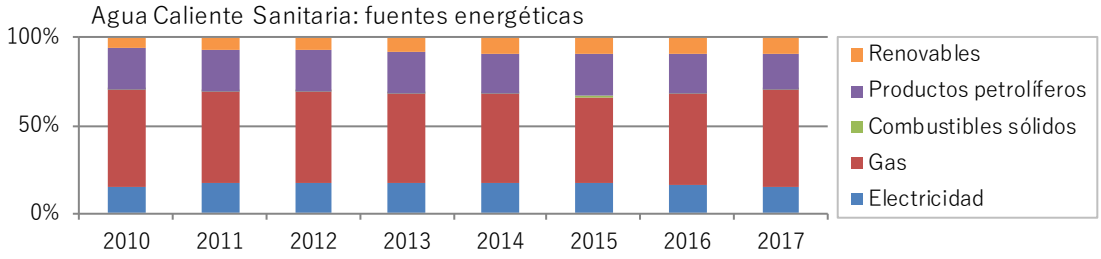
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Figura 11. Evolución de la cobertura del uso energético de iluminación y electrodomésticos en el periodo 2010-2017

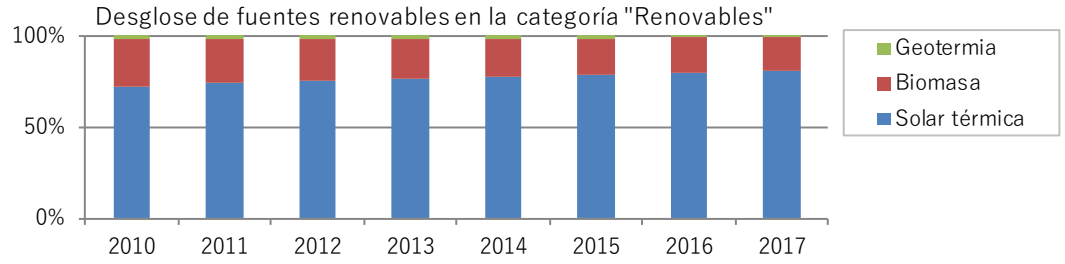



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Figura 12. Evolución de la cobertura del uso energético de agua caliente sanitaria en el periodo 2010-2017



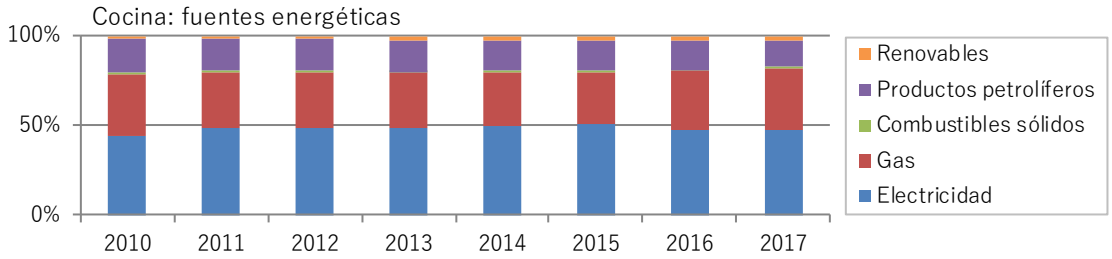

(a) Desglose en fuentes energéticas



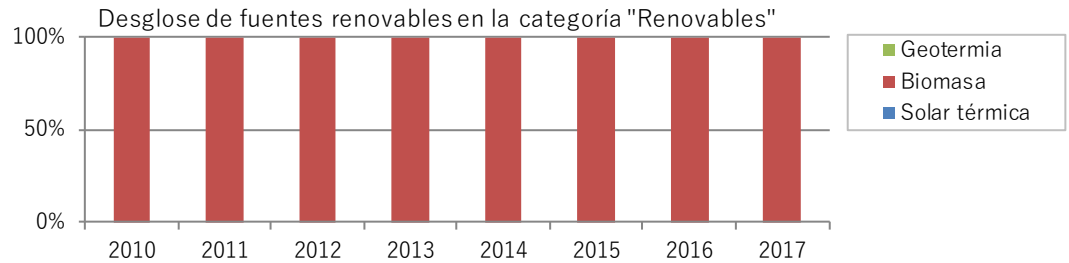

(b) Desglose de la fuente “Renovables”

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Figura 13. Evolución de la cobertura del uso energético de cocina en el periodo 2010-2017



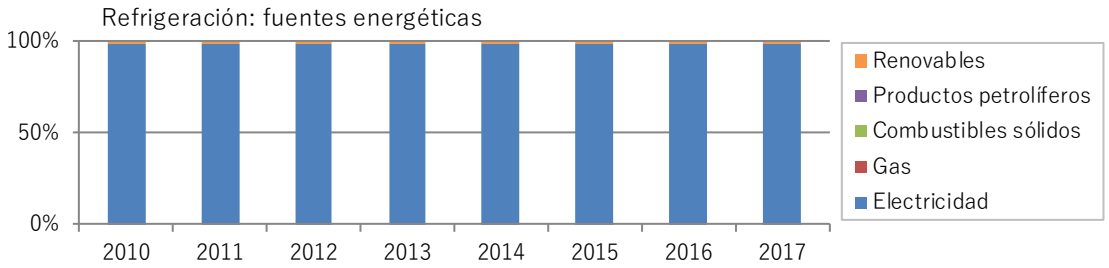

(a) Desglose en fuentes energéticas



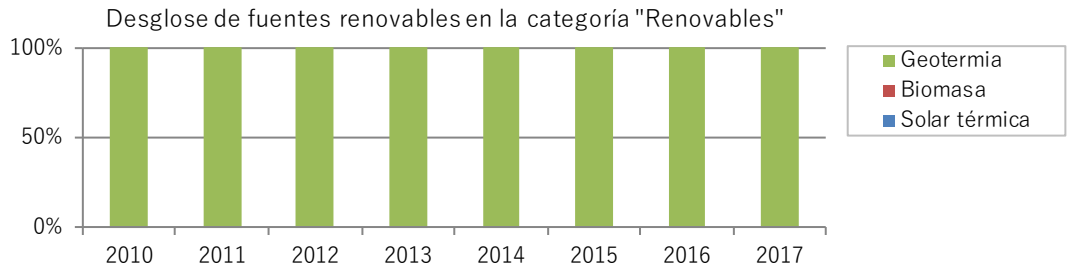

(b) Desglose de la fuente “Renovables”

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Figura 14. Evolución de la cobertura del uso energético de refrigeración en el periodo 2010-2017




(a) Desglose en fuentes energéticas




(b) Desglose de la fuente "Renovables"

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Las tablas siguientes resumen los resultados de las figuras anteriores, de donde se infiere que:

- La electricidad es el tipo de energía predominante en los usos de iluminación y electrodomésticos, cocina y refrigeración, y el gas en los restantes usos (calefacción, agua caliente sanitaria y cocina).
- La penetración de las energías renovables es solo predominante en el uso de calefacción (asociada al empleo de la biomasa como combustible), en los demás usos energéticos está por debajo del 10%, siendo por orden de importancia el agua caliente sanitaria (básicamente a través de la energía solar térmica y, en menor medida, la biomasa), la cocina (biomasa) y la refrigeración (geotermia).

Tabla 3. Cobertura de los usos energéticos por fuentes en el sector residencial: promedios anuales en 2010-2017.

| | Electricidad | Gas | Combustibles sólidos | Productos petrolíferos | Renovables |
|---|---|---|---|---|---|
| Calefacción | 7,3% | 24,6% | 1,3% | 29,9% | 37,2% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | - | - | - | - |
| Agua caliente sanitaria | 16,4% | 52,3% | 0,2% | 22,8% | 8,4% |
| Cocina | 48,2% | 31,5% | 1,0% | 17,1% | 2,2% |
| Refrigeración | 98,5% | - | - | - | 1,5% |

Tabla 4. Desglose de la fuente "Renovables" de la Tabla 3 en las energías contempladas en los datos oficiales.

| | Cobertura por Renovables | Solar térmica | Biomasa | Geotermia |
|---|---|---|---|---|
| Calefacción | 37,2%, de la cual → | 0,6% | 99,2% | 0,2% |
| Iluminación y electrodomésticos | 0% | - | - | - |
| Agua caliente sanitaria | 8,4%, de la cual → | 77,3% | 21,5% | 1,2% |
| Cocina | 2,2%, de la cual → | - | 100% | - |
| Refrigeración | 1,5%, de la cual → | - | - | 100% |

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

Conviene resaltar que los datos no recogen el uso de otras fuentes de energía renovable como la fotovoltaica, para la producción de electricidad. Y es que, si bien en 2018 la solar fotovoltaica generó el 3% de la energía eléctrica vertida al sistema eléctrico nacional, el grado de penetración en el sector residencial ha sido muy bajo hasta el momento y ha estado prácticamente restringido a viviendas unifamiliares. En este punto cabe mencionar que, si bien la legislación española reguló de manera específica la conexión a redes eléctricas de baja tensión de instalaciones fotovoltaicas en el año 2000[17], no fue hasta 2015 cuando se permitió el autoconsumo directo de la producción fotovoltaica mediante la conexión de las instalaciones a redes interiores en viviendas unifamiliares[18], y hasta 2019 cuando esta posibilidad se ha ampliado a los edificios residenciales plurifamiliares[19].

Los datos de consumo comentados en los párrafos anteriores se refieren al conjunto del parque edificatorio residencial y, por tanto, incluyen la diversidad existente en las características de los edificios y equipamientos, así como en los hábitos de consumo de los hogares. Así, existen variaciones entre los consumos de viviendas de las distintas regiones españolas, tal y como muestran los resultados de un estudio realizado por el IDAE en 2011[20] con datos individualizados por las zonas climáticas del Atlántico Norte, Continental y Mediterráneo[21]. En efecto, como muestra la Figura 15 en la que se representan los consumos energéticos de viviendas de edificios unifamiliares y plurifamiliares (figuras a y b, respectivamente), la principal diferencia está en el uso de la calefacción (cuya demanda es más alta en zonas con inviernos más severos), seguida de los usos de cocina, agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos y refrigeración.

[17] Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

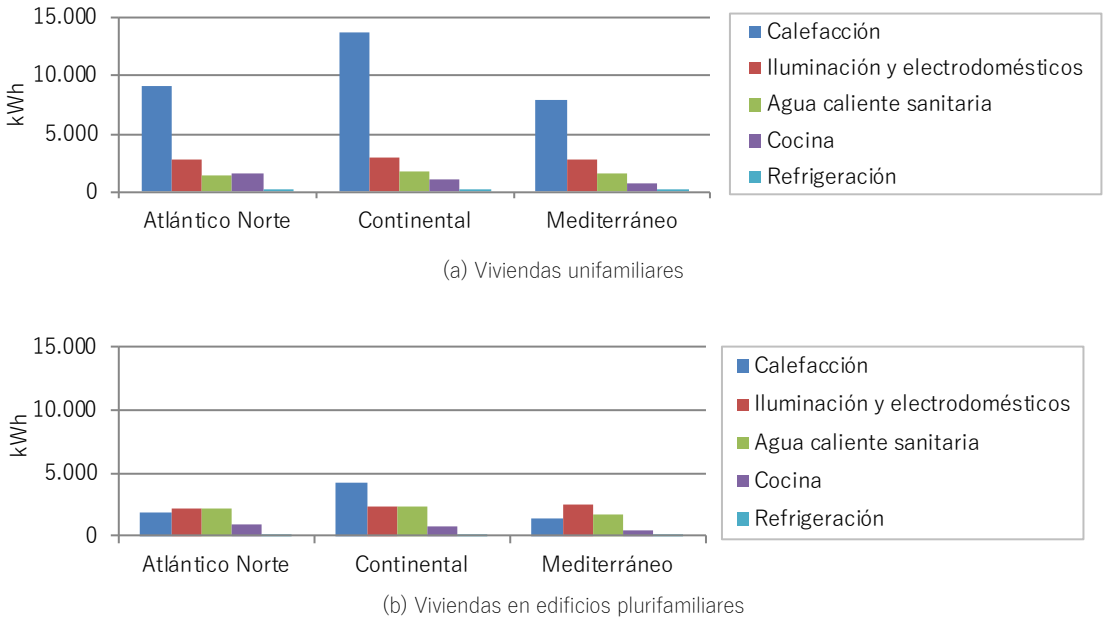
[18] Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. En la actualidad derogado.

[19] Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Permite el autoconsumo compartido.

[20] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, "Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final". 2011. (Datos de 2010).

[21] Zonas climáticas definidas en función de las temperaturas promedio máximas, medias y mínimas de las provincias españolas para el periodo 1997-2007: Atlántico Norte (Pontevedra, A Coruña, Lugo, Asturias, Santander, Bizkaia y Gipuzkoa), Continental (Oursense, León, Palencia, Burgos, Álava, La Rioja, Navarra, Huesca, Lleida, Zamora, Valladolid, Soria, Zaragoza, Salamanca, Ávila, Segovia, Madrid, Guadalajara, Teruel, Cáceres, Toledo, Cuenca, Badajoz, Ciudad Real y Albacete) y Mediterráneo (Girona, Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Alicante, Murcia, Almería, Granada, Málaga, Cádiz, Huelva, Sevilla, Córdoba, Jaén, Baleares, Santa Cruz y Las Palmas).

Figura 15. Consumo por usos energéticos en viviendas de las zonas climáticas definidas en el proyecto SECH-SPAHOUSEC.




(a) Viviendas unifamiliares




(b) Viviendas en edificios plurifamiliares

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

### 4.1.2. Usos energéticos considerados

Dado el peso que representa el uso de calefacción en el consumo energético final de los edificios residenciales, resulta fundamental para un análisis sobre su potencial cobertura por parte de sistemas energéticos determinar su relación con las características físicas de los edificios (volumetrías, materiales y soluciones constructivas) y su emplazamiento geográfico. Para ello, se han empleado los resultados de un estudio realizado en el marco de la ERESEE[22] que proporciona valores normalizados de consumo energético en calefacción por tipología edificatoria (clúster) y provincia a partir de los cuales se han estimado los consumos para viviendas de 100 $m^2$ de superficie útil. La Tabla 5 muestra los resultados del análisis estadístico realizado sobre el conjunto de valores de consumo.

Como puede observarse y era de esperar, los mayores consumos se encuentran en los clústers de viviendas unifamiliares y, dentro de éstas, en las construidas antes de 1940. Esta misma tendencia se encuentra en los clústers de viviendas en edificios plurifamiliares, siendo mayores los consumos de aquellos pertenecientes a edificios de 1 a 3 plantas que los que pertenecen a edificios de 4 o más plantas. En lo que respecta a la dispersión de valores (caracterizada por el parámetro desviación estándar), se observa también una mayor dispersión entre los consumos en las viviendas unifamiliares, seguida de las viviendas en edificios plurifamiliares de 1 a 3 plantas y, por último, entre las viviendas en edificios plurifamiliares de 4 o más plantas.

[22] Ministerio de Fomento, "Aproximación a la demanda energética residencial para calefacción en España", Diciembre de 2018.

Tabla 5. Resumen de consumos energéticos en calefacción de los clústers representativos.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Promedio (kWh) | 15.748 | 14.612 | 14.154 | 8.534 | 5.537 |
| Máximo (kWh) | 27.014 | 25.186 | 24.448 | 15.289 | 10.439 |
| Máximo (% del promedio) | 172% | 160% | 155% | 97% | 66% |
| Mínimo (kWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Desviación estándar (% del promedio) | 48% | 45% | 43% | 28% | 19% |
| | **Cc <40** | **Cc 41-60** | **Cc 61-80** | **Cc 81-07** | **Cc 08-11** |
| Promedio (kWh) | 11.157 | 10.475 | 7.242 | 5.182 | 3.394 |
| Máximo (kWh) | 19.506 | 18.407 | 13.206 | 9.768 | 6.796 |
| Máximo (% del promedio) | 124% | 117% | 84% | 62% | 43% |
| Mínimo (kWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Desviación estándar (% del promedio) | 35% | 33% | 24% | 18% | 13% |
| | **Bb <40** | **Bb 41-60** | **Bb 61-80** | **Bb 81-07** | **Bb 08-11** |
| Promedio (kWh) | 8.231 | 7.257 | 6.449 | 3.726 | 2.427 |
| Máximo (kWh) | 14.338 | 13.229 | 11.635 | 7.355 | 5.135 |
| Máximo (% del promedio) | 91% | 84% | 74% | 47% | 33% |
| Mínimo (kWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Desviación estándar (% del promedio) | 25% | 24% | 21% | 14% | 10% |

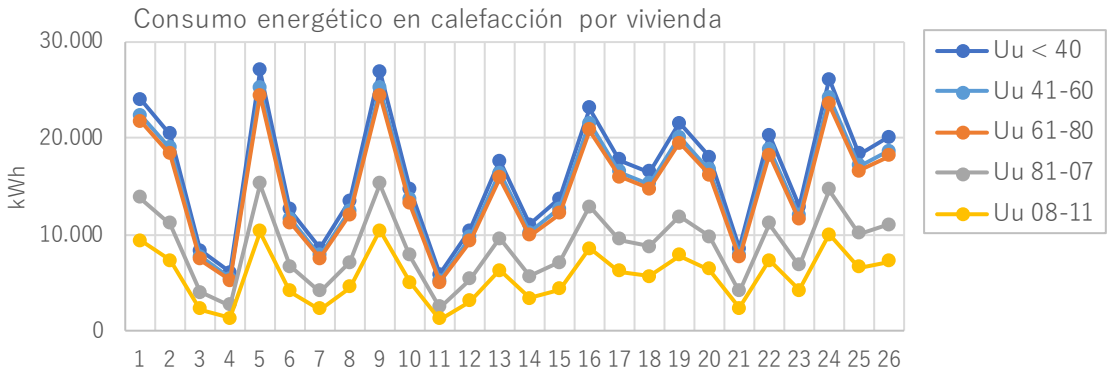
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento

Se puede comprobar cómo la disminución de consumos energéticos en calefacción de los edificios con respecto a los construidos antes de 1940 está relacionada con las exigencias de las prescripciones térmicas de los respectivos marcos normativos. En concreto, de la comparación de los consumos promedio se infiere:

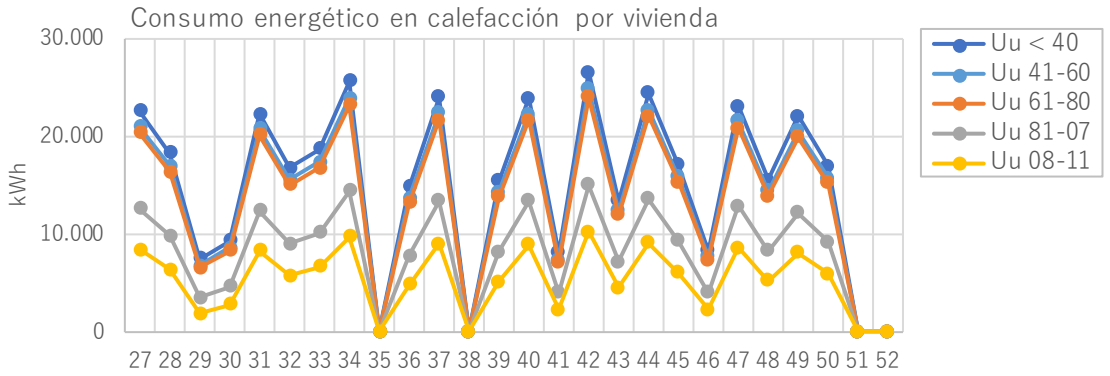
- Edificios construidos entre 1941 y 1960: reducción en el entorno del 10%.
- Edificios construidos entre 1961 y 1980: reducciones entre un 10 y un 30%.
- Edificios construidos entre 1981 y 2007 (marco normativo de la Norma Básica de Edificación NBE-CT-79): reducciones entre un 40 y un 50%.
- Edificios construidos entre 2008 y 2011 (marco normativo del Código Técnico de la Edificación): reducciones superiores al 60%.

La Figura 16, Figura 17 y Figura 18 muestran los consumos en calefacción por clúster y provincia/ciudad autónoma.

Figura 16. Consumo energético en calefacción de viviendas unifamiliares de 100 m$^2$



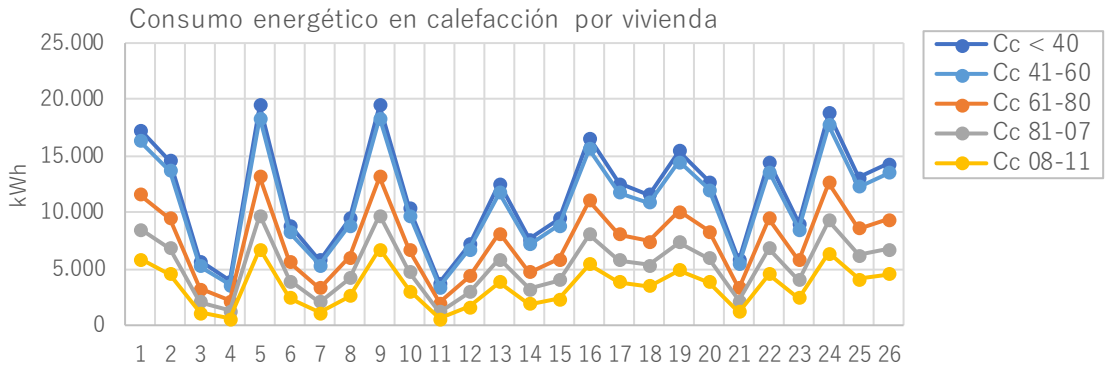

1 - Álava
2 – Albacete
3 – Alicante
4 – Almería
5 - Ávila
6 – Badajoz
7 – Illes Balears
8 – Barcelona
9 – Burgos
10 – Cáceres
11 – Cádiz
12 – Castellón
13 – Ciudad Real
14 – Córdoba
15 – A Coruña
16 – Cuenca
17 – Girona
18 – Granada
19 – Guadalajara
20 – Gipuzkoa
21 – Huelva
22 – Huesca
23 – Jaén
24 – León
25 – Lleida
26 - Logroño



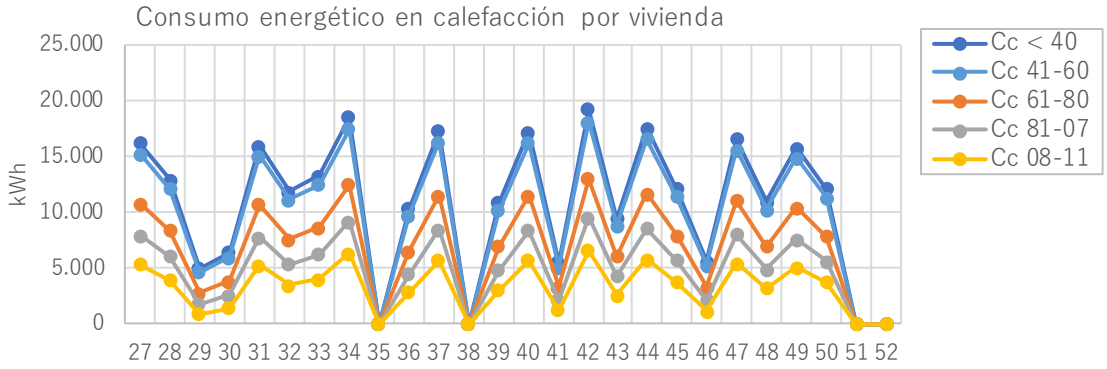

27 – Lugo
28 – Madrid
29 – Málaga
30 – Murcia
31 – Navarra
32 – Ourense
33 – Asturias
34 – Palencia
35 – Las Palmas
36 – Pontevedra
37 – Salamanca
38 – Sta. Cruz de Tenerife
39 – Cantabria
40 – Segovia
41 – Sevilla
42 – Soria
43 – Tarragona
44 – Teruel
45 – Toledo
46 – Valencia
47 – Valladolid
48 – Bizkaia
49 – Zamora
50 – Zaragoza
51 – Ceuta
52 - Melilla

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento.

Figura 17. Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 m$^2$ en edificios plurifamiliares de 1 a 3 plantas



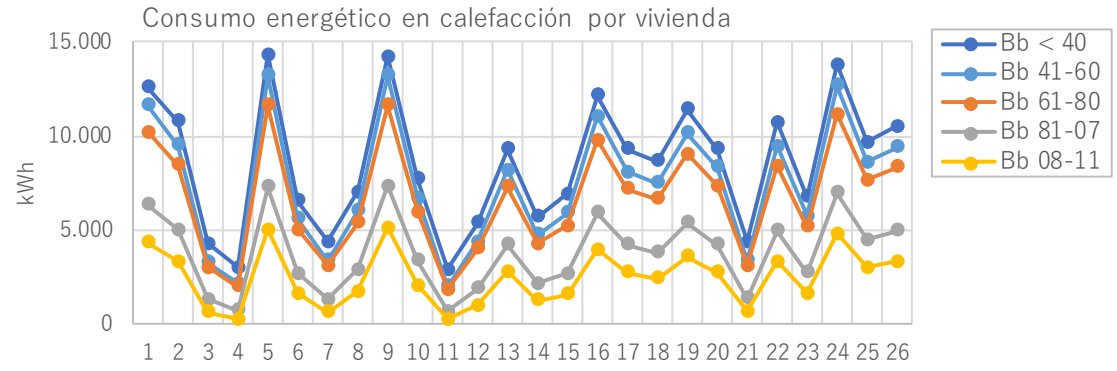

1 - Álava
2 – Albacete
3 – Alicante
4 – Almería
5 - Ávila
6 – Badajoz
7 – Illes Balears
8 – Barcelona
9 – Burgos
10 – Cáceres
11 – Cádiz
12 – Castellón
13 – Ciudad Real
14 – Córdoba
15 – A Coruña
16 – Cuenca
17 – Girona
18 – Granada
19 – Guadalajara
20 – Gipuzkoa
21 – Huelva
22 – Huesca
23 – Jaén
24 – León
25 – Lleida
26 - Logroño



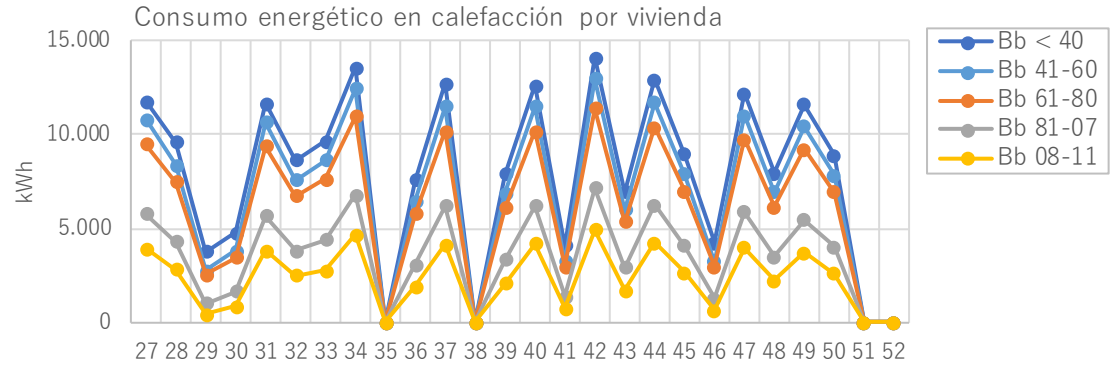

27 – Lugo
28 – Madrid
29 – Málaga
30 – Murcia
31 – Navarra
32 – Ourense
33 – Asturias
34 – Palencia
35 – Las Palmas
36 – Pontevedra
37 – Salamanca
38 – Sta. Cruz de Tenerife
39 – Cantabria
40 – Segovia
41 – Sevilla
42 – Soria
43 – Tarragona
44 – Teruel
45 – Toledo
46 – Valencia
47 – Valladolid
48 – Bizkaia
49 – Zamora
50 – Zaragoza
51 – Ceuta
52 - Melilla

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento.

Figura 18. Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 m$^2$ en edificios plurifamiliares de más de 4 plantas




1 - Álava
2 – Albacete
3 – Alicante
4 – Almería
5 - Ávila
6 – Badajoz
7 – Illes Balears
8 – Barcelona
9 – Burgos
10 – Cáceres
11 – Cádiz
12 – Castellón
13 – Ciudad Real
14 – Córdoba
15 – A Coruña
16 – Cuenca
17 – Girona
18 – Granada
19 – Guadalajara
20 – Gipuzkoa
21 – Huelva
22 – Huesca
23 – Jaén
24 – León
25 – Lleida
26 - Logroño




27 – Lugo
28 – Madrid
29 – Málaga
30 – Murcia
31 – Navarra
32 – Ourense
33 – Asturias
34 – Palencia
35 – Las Palmas
36 – Pontevedra
37 – Salamanca
38 – Sta. Cruz de Tenerife
39 – Cantabria
40 – Segovia
41 – Sevilla
42 – Soria
43 – Tarragona
44 – Teruel
45 – Toledo
46 – Valencia
47 – Valladolid
48 – Bizkaia
49 – Zamora
50 – Zaragoza
51 – Ceuta
52 - Melilla

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento.

Otros usos energéticos considerados, que junto con la calefacción constituyen más del 90% del consumo de energía final del sector residencial son:

- Iluminación y electrodomésticos: consumos promedio por hogar principal en el periodo 2010-2017[16].
- Agua caliente sanitaria: consumos estimados individualizados por clúster, calculados según establece el Código Técnico de la Edificación. Conviene mencionar que las diferencias entre los consumos estimados y el promedio por hogar en el periodo 2010-2017 son inferiores al 8%.

Los valores numéricos de todos los consumos considerados se incluyen en el Anexo I.

## 4.2. Hipótesis adoptadas y escenarios analizados

Se presentan a continuación las hipótesis adoptadas para el cálculo de la energía final esperable del aprovechamiento solar activo de las cubiertas de los clústers y, seguidamente, los escenarios de ocupación de cubiertas planteados.

### 4.2.1. Hipótesis de cálculo

Para el cálculo de las superficies disponibles para uso solar de los distintos clústers y de la energía final esperable de las instalaciones solares se han adoptado las siguientes suposiciones (algunas ya se mencionaron en la sección anterior, pero se repiten aquí para facilitar la comprensión):

- Distribución de las cubiertas planas e inclinadas según la tabla siguiente (se indica en cada caso el porcentaje de edificios con cubierta plana e inclinada):

Tabla 6. Presencia de cubiertas planas e inclinadas en los distintos clústers,

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| % cubierta plana - % cubierta inclinada | 0 -100% | 0 – 100% | 10% - 90% | 20% - 80% | 20% - 80% |
| | Cc <40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| % cubierta plana - % cubierta inclinada | 30% - 70% | 30% - 70% | 40% - 60% | 50% - 50% | 50% - 50% |
| | Bb <40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| % cubierta plana - % cubierta inclinada | 30% - 70% | 70% - 30% | 70% - 30% | 80% - 20% | 80% - 20% |

Fuente: Ministerio de Fomento, 2019 (inédito).

  Esto supone que, si bien se han realizado cálculos individuales para ambos tipos de cubiertas, el resultado asignado a cada clúster se corresponde con los factores de ponderación mostrados en la tabla.

- Orientación de los edificios Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-O), ponderadas por igual. Esto implica que, si bien se han realizado cálculos con las cubiertas según las dos posibles orientaciones, el resultado final asignado a cada clúster se corresponde con el factor de ponderación mencionado (50% en ambas).

- Disposición de captadores solares (colectores solares térmicos y módulos fotovoltaicos):
  - Cubiertas planas: disposición en filas paralelas inclinadas 30° y orientadas al sur.
  - Cubiertas inclinadas: disposición en planos paralelos a las cubiertas orientadas sur, este y oeste (misma orientación e inclinación). Se excluye el aprovechamiento de las cubiertas con orientación norte.

- Rendimiento global de las instalaciones: 30% para instalaciones solares térmicas y 16% para instalaciones solares fotovoltaicas.
- SPF de bombas de calor = 3, superior al límite mínimo considerado por la Directiva Europea [REF].
- Fracción solar del suministro de agua caliente sanitaria según lo exigido en el Código Técnico de la Edificación[23].

### 4.2.2. Escenarios de uso de cubiertas

Se plantean los siguientes escenarios de uso de cubiertas por parte de las instalaciones solares:

- Escenario 1: usos térmico y fotovoltaico. Uso compartido de la cubierta por parte de instalación solar térmica para la cobertura del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria y de instalación fotovoltaica para la cobertura de necesidades de iluminación y electrodomésticos.
- Escenario 2: uso fotovoltaico básico. Uso exclusivo de la cubierta por parte de instalación fotovoltaica para la cobertura del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria (uso de termo eléctrico), iluminación y electrodomésticos.
- Escenario 3: uso fotovoltaico ampliado. Uso exclusivo de la cubierta por parte de instalación fotovoltaica para la cobertura del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria, calefacción (uso de bomba de calor), iluminación y electrodomésticos.

En todos los casos el balance energético entre demanda y generación esperable se ha realizado en términos anuales, con la salvedad del uso de calefacción cuyo balance energético se ha realizado en el periodo de calefacción (entre octubre y marzo, ambos inclusive). Asimismo, en los casos en los que la energía final esperable supera la demanda, los excedentes de generación se han computado como excedentes.

No se ha contemplado ningún escenario de cobertura de la demanda de calefacción mediante instalación solar térmica ya que, si bien es técnicamente viable, supondría la necesidad de un gran número de colectores solares que quedarían sin uso en el periodo de refrigeración (de abril a septiembre), quedando desaprovechada la cubierta con fines de generación de energía útil.

[23] Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo

## 4.3. Resultados

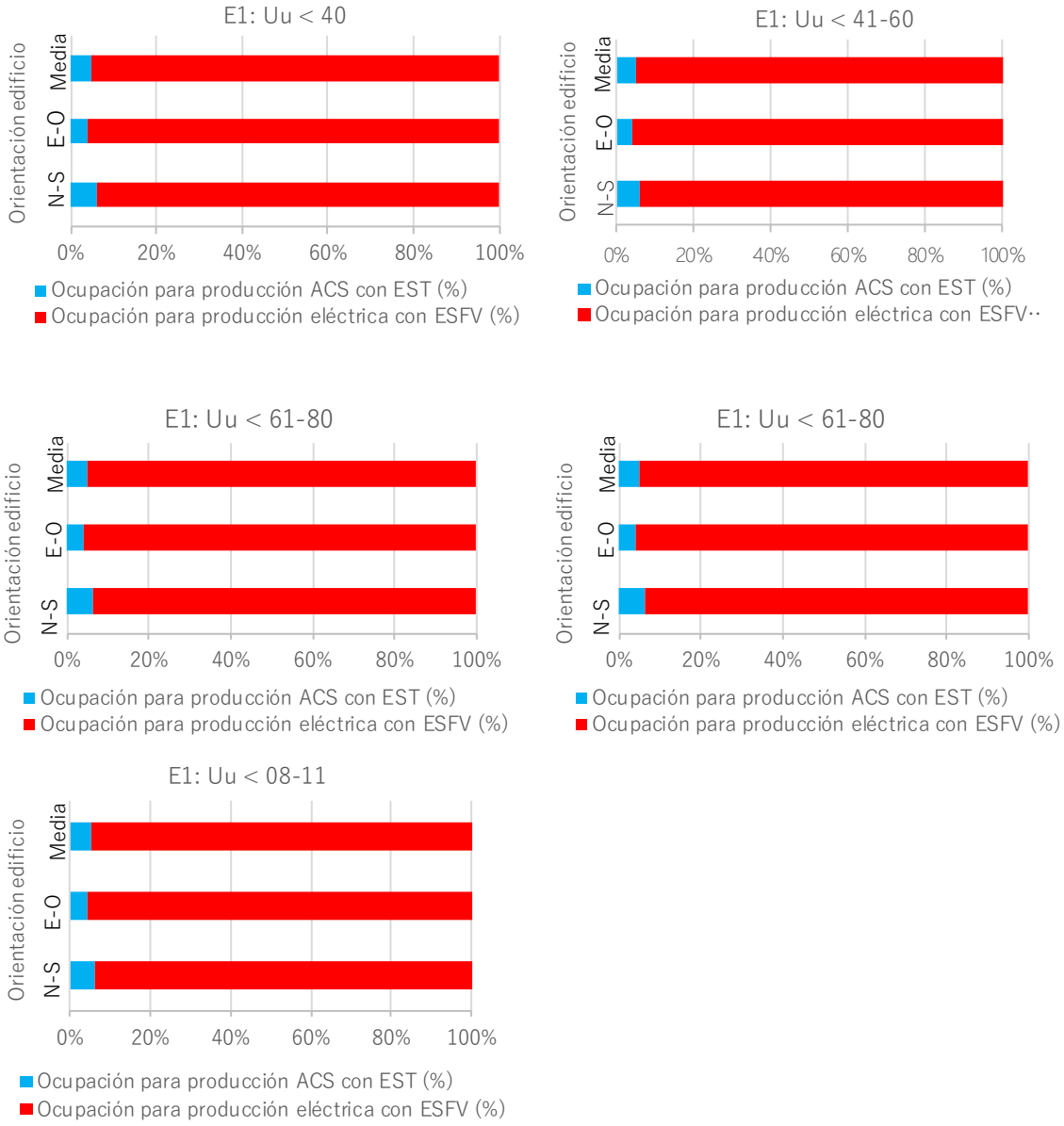
### 4.3.1. Ejemplo 1: Madrid

Con el objeto de mostrar el procedimiento seguido, se presentan aquí los resultados correspondientes a la provincia de Madrid.

- Escenario 1: usos térmico y fotovoltaico

  La Figura 19 muestra en primer lugar la ocupación de cubiertas en los clústers de viviendas unifamiliares para la satisfacción del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria (instalación solar térmica) y para la generación eléctrica (instalación fotovoltaica). Se representa en cada figura el porcentaje de ocupación de la cubierta suponiendo que el edificio estuviera orientado Norte-Sur, Este-Oeste y el promedio de ambas (respectivamente, N-S, E-O y Media), y el factor de ponderación entre cubiertas plana e inclinada indicado en la tabla. Así, en el caso del clúster Uu<40 el 100% de las cubiertas son inclinadas. Como puede observarse, el porcentaje de ocupación por parte de los colectores solares térmicos es inferior al 10% en todos los casos, estando el resto de la cubierta ocupada por módulos fotovoltaicos.

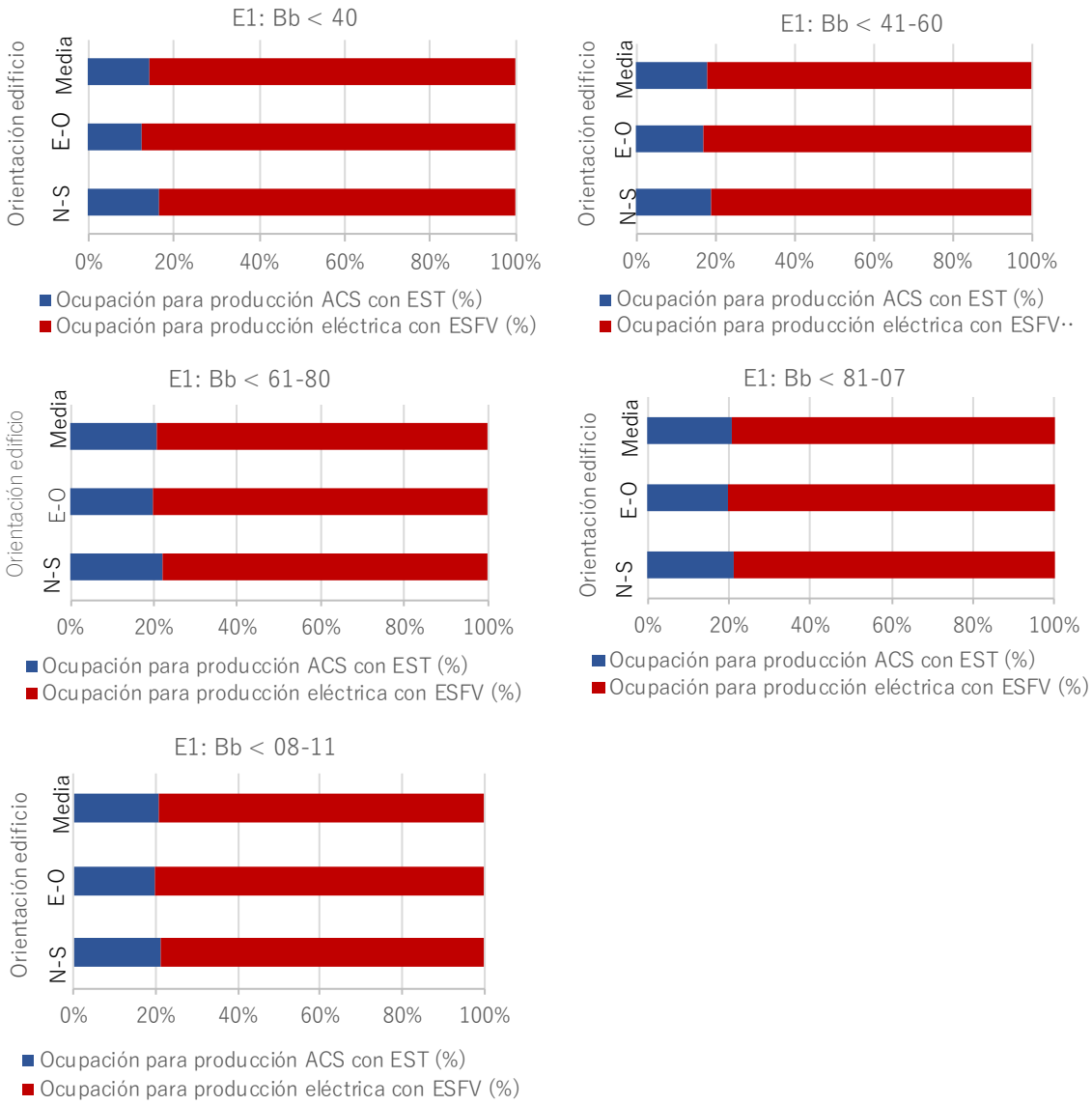
Figura 19. Escenario 1: ocupación de cubiertas en viviendas unifamiliares por captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos. Provincia de Madrid.




Fuente: Elaboración propia

A modo de contraste, la Figura 20 muestra la ocupación equivalente para los clústers de viviendas situadas en edificios plurifamiliares de más de 4 plantas. Nótese cómo en este caso el porcentaje de ocupación por parte de los colectores solares térmicos está entre un 10 y un 20%.

Figura 20. Escenario 1: ocupación de cubiertas en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas por captadores solares térmicos y fotovoltaicos. Provincia de Madrid.

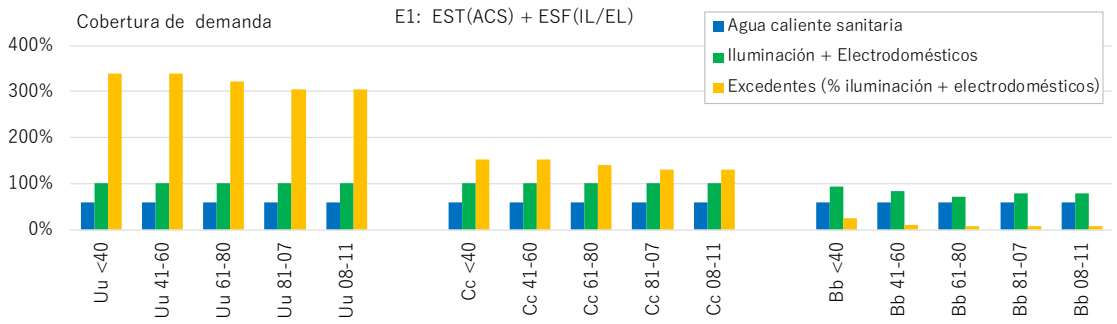



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Figura 21 muestra el grado de cobertura de las necesidades energéticas anuales para agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos, así como la generación de energía eléctrica excedentaria derivada del aprovechamiento solar de las cubiertas. Como puede observarse, en todos los casos la cobertura de agua caliente sanitaria es el 60% (coherente con la hipótesis de cálculo). En cuanto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos, esta sería cubierta en un 100% en las viviendas unifamiliares y viviendas en edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (clústers Uu y Cc, respectivamente), y entre un 72 y un 93% en las viviendas en edificios plurifamiliares de 4 o más plantas (clústers Bb). En lo que respecta a la generación de excedentes, destacan las viviendas unifamiliares, cuyos excedentes superan el 300% de la demanda eléctrica para iluminación y

electrodomésticos, seguidos de las viviendas en edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas en las que excederían el 100% de dicha demanda (valores comprendidos entre el 130 y un 150%). En las demás viviendas los excedentes oscilarían entre un 7 y un 26% de la demanda de iluminación y electrodomésticos. Conviene aclarar que el hecho de que existan excedentes en clústers en las que no se cubre la demanda anual para iluminación y electrodomésticos se debe a los distintos factores de ponderación que subyacen a los resultados representados.

Figura 21. Escenario 1: cobertura de las necesidades energéticas anuales. Provincia de Madrid.

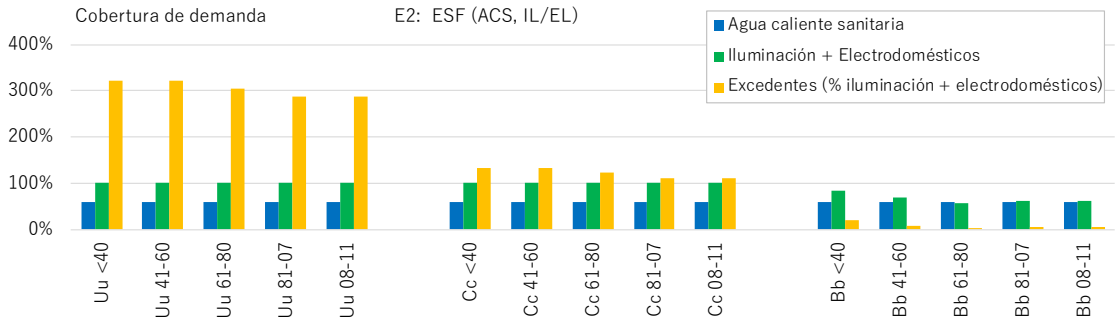



Fuente: Elaboración propia

- Escenario 2: uso fotovoltaico básico

En este escenario la cubierta sería de uso exclusivo para la instalación fotovoltaica, planteando la producción de agua caliente sanitaria mediante termos eléctricos. La Figura 22 muestra la cobertura de las necesidades energéticas anuales, se observan tendencias similares a la del escenario 1, solo que en este caso la generación de excedentes es ligeramente inferior debido a la menor eficiencia de las instalaciones fotovoltaica para producir agua caliente sanitaria (comparada con la de instalaciones solares térmicas), que resta superficie de cubierta para producir energía para otros usos.

Figura 22. Escenario 2: cobertura de las necesidades energéticas anuales. Provincia de Madrid.

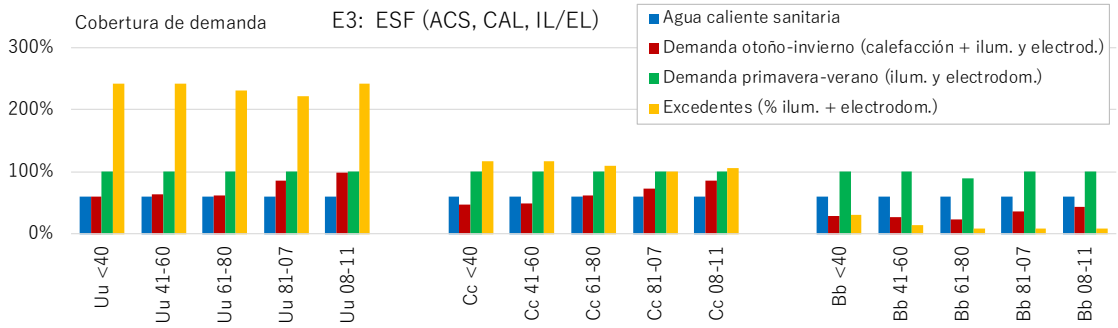



Fuente: Elaboración propia

- Escenario 3: uso fotovoltaico ampliado

En este escenario la cubierta sería de uso exclusivo para la instalación fotovoltaica, planteando la cobertura de agua caliente sanitaria y calefacción mediante bombas de calor de accionamiento eléctrico. La Figura 23 muestra la cobertura de las necesidades energéticas, diferenciando entre agua caliente sanitaria (constante todo el año) y los usos en el periodo de calefacción (calefacción, iluminación y electrodomésticos) y refrigeración (iluminación y electrodomésticos).

Figura 23. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas anuales. Provincia de Madrid.




Fuente: Elaboración propia

Se constatan los siguientes resultados:

- Periodo de calefacción: en las viviendas unifamiliares (clústers Uu) se alcanzan unos niveles de cobertura de las necesidades de calefacción, iluminación y electrodomésticos entre el 60 y el 100%, niveles que en viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas y 4 o más plantas (clústers Cc y Bb) descienden hasta los rangos 46-85% y 24-44% respectivamente.
- Periodo de refrigeración: aquí en todos los casos, salvo en el clúster Bb 61-80, la cobertura de las necesidades de iluminación y electrodomésticos es del 100%.
- En lo que respecta a la generación de excedentes, en las viviendas unifamiliares equivalen a un rango entre el 220 y 240% de las necesidades de iluminación y electrodomésticos. En las viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas están comprendidas entre el 100 y el 120% y en las de edificios de 4 o más plantas están entre el 10 y el 30%.

### 4.3.2. Ejemplo 2: localidades representativas de zonas climáticas

Con el objeto de mostrar resultados representativos de las zonas climáticas presentes en la geografía española, se muestran a continuación resultados correspondientes a localidades situadas en distintas zonas climáticas térmicas y solares, según se definen en el Código Técnico de la Edificación. Se indican en la Tabla 7 las localidades seleccionadas; nótese que salvo en un caso, se han seleccionado dos localidades por cada zona climática solar para cubrir el rango de zonas climáticas térmicas, desde las más severas en invierno a las más severas en verano.

Tabla 7. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas térmicas y solares definidas en el Código Técnico de la Edificación.

| Localidad | Zona climática térmica | Zona climática solar |
|---|---|---|
| Vitoria-Gasteiz | D1 | I |
| Burgos | E1 | II |
| Barcelona | C2 | II |
| León | E1 | III |
| Lleida | D3 | III |
| Ávila | E1 | IV |
| Málaga | A3 | IV |
| Albacete | D3 | V |
| Huelva | A4 | V |

Fuente: elaboración propia.

- Escenario 1: usos térmico y fotovoltaico

  En primer lugar se muestra en la Figura 24 el porcentaje de ocupación de cubiertas por parte de los colectores solares térmicos. Se observan 3 tendencias: en las viviendas unifamiliares (Uu) el porcentaje de ocupación está comprendido entre un 5 y un 7%; en las viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (Cc) está entre el 8 y el 11% y en las de edificios plurifamiliares de mayor altura (Bb) se obtienen las mayores ocupaciones, entre un 13 y un 27%.

  En la Figura 25 y Figura 26 se representan, respectivamente, el grado de cobertura de las necesidades energéticas para iluminación y electrodomésticos y la generación de excedentes en % respecto de la demanda eléctrica. No se representa la cobertura de necesidades energéticas para agua caliente sanitaria por ser un parámetro de diseño constante e igual al 60%.

  Como puede observarse, en las viviendas unifamiliares y viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (clústers Uu y Cc) la cobertura de la demanda eléctrica es total (del 100%) y es está entre el 60 y el 95% en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas (clústers Bb).

  La generación de excedentes es máxima en las viviendas unifamiliares (entre el 213 y 357% de la demanda eléctrica), media en viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3

plantas (entre el 76 y el 162%) y mínima en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas (valores inferiores al 30%).

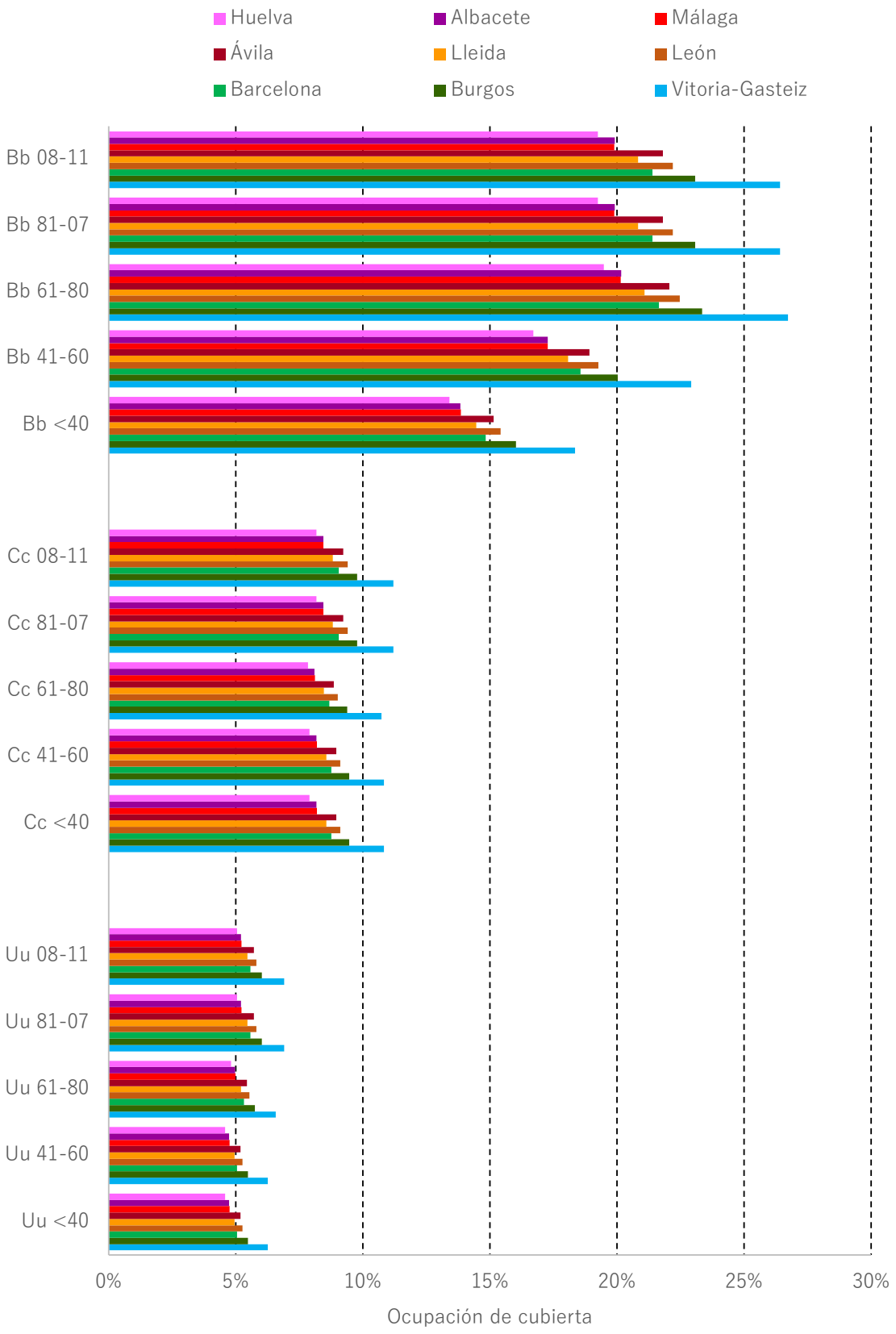
La Tabla 8 muestra un resumen del análisis estadístico de las coberturas en las localidades analizadas.

Tabla 8. Escenario 1: resumen de las coberturas de necesidades energéticas y generación de excedentes en las localidades seleccionadas.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, promedio | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, mínimo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, máximo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 317% | 317% | 301% | 284% | 284% |
| Excedentes, mínimo | 240% | 240% | 227% | 213% | 213% |
| Excedentes, máximo | 357% | 357% | 339% | 322% | 322% |
| | Cc <40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, promedio | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, mínimo | 100% | 100,0% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, máximo | 100% | 100,0% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 138% | 138% | 128% | 117% | 117% |
| Excedentes, mínimo | 93% | 93% | 85% | 76% | 76% |
| Excedentes, máximo | 162% | 162% | 152% | 140% | 140% |
| | Bb <40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, promedio | 90% | 80% | 68% | 75% | 75% |
| Iluminación y electrodomésticos, mínimo | 78% | 65% | 56% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, máximo | 95% | 86% | 75% | 84% | 84% |
| Excedentes, promedio | 23% | 9% | 5% | 6% | 6% |
| Excedentes, mínimo | 11% | 5% | 1% | 3% | 3% |
| Excedentes, máximo | 30% | 12% | 7% | 8% | 8% |

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Escenario 1: ocupación de cubiertas por captadores solares térmicos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas.

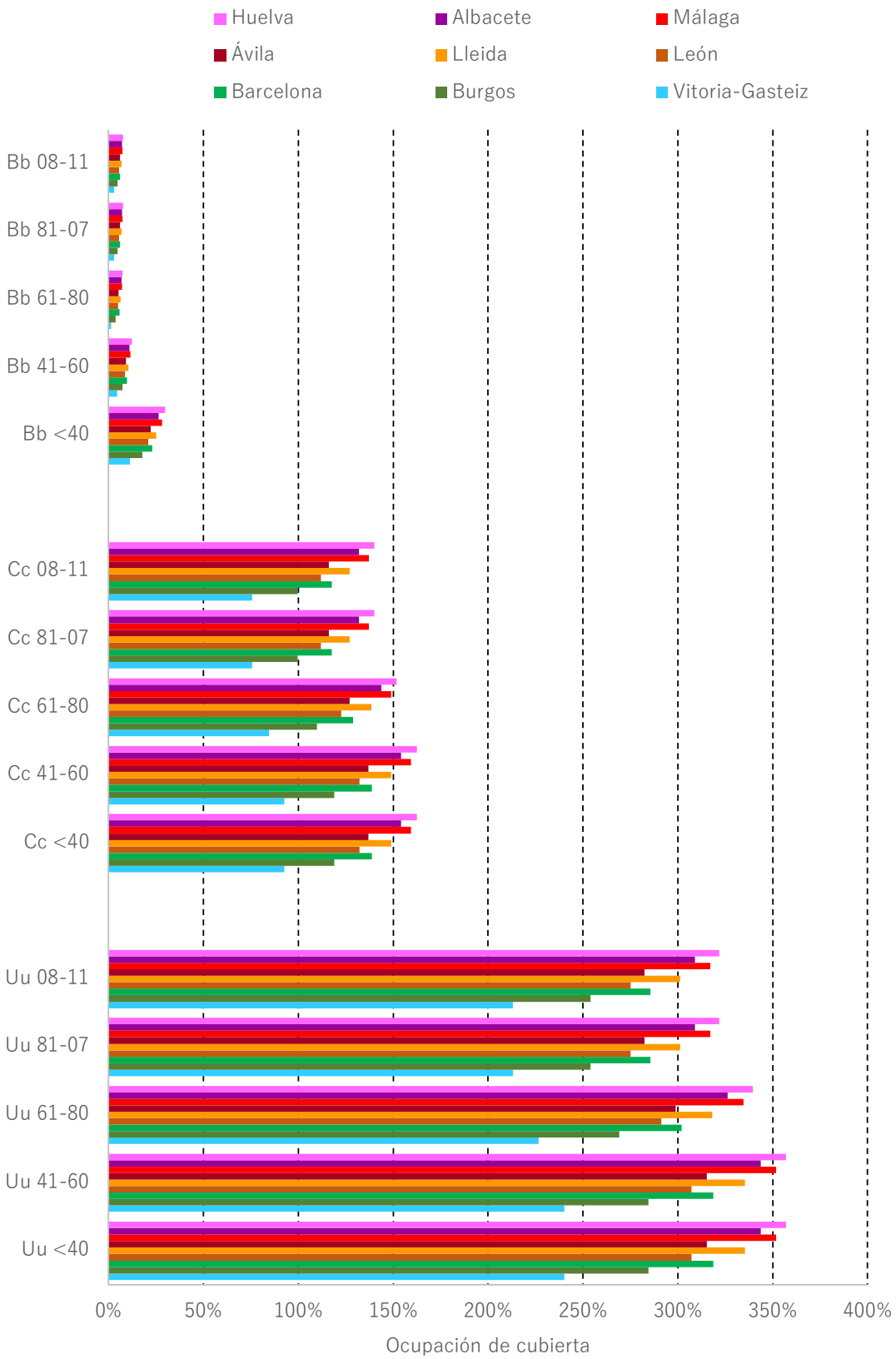



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Escenario 1: cobertura de las necesidades energéticas anuales para iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Escenario 1: generación de excedentes eléctricos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas.




Fuente: Elaboración propia.

- Escenario 2: uso fotovoltaico básico.

  La Figura 27 y Figura 28 muestran respectivamente el grado de cobertura de las necesidades energéticas para iluminación y electrodomésticos, así como la generación de excedentes en % respecto de la demanda eléctrica. Al igual que en el escenario anterior, la cobertura de necesidades energéticas para agua caliente sanitaria es en todos los casos el 60%.

  Como se vio en el caso de Madrid, en este escenario, al ser la cubierta de uso exclusivo para la producción fotovoltaica y presentar las instalaciones fotovoltaicas menor eficiencia que las solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria, la cobertura de necesidades energéticas de iluminación y electrodomésticos y la generación de excedentes son inferiores a las del escenario 1,

  No obstante, en las viviendas unifamiliares y viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (clústers Uu y Cc) la cobertura de la demanda eléctrica seguiría siendo del 100%. En cambio, en las viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas (clústers Bb) estaría entre un 40 y un 87%.

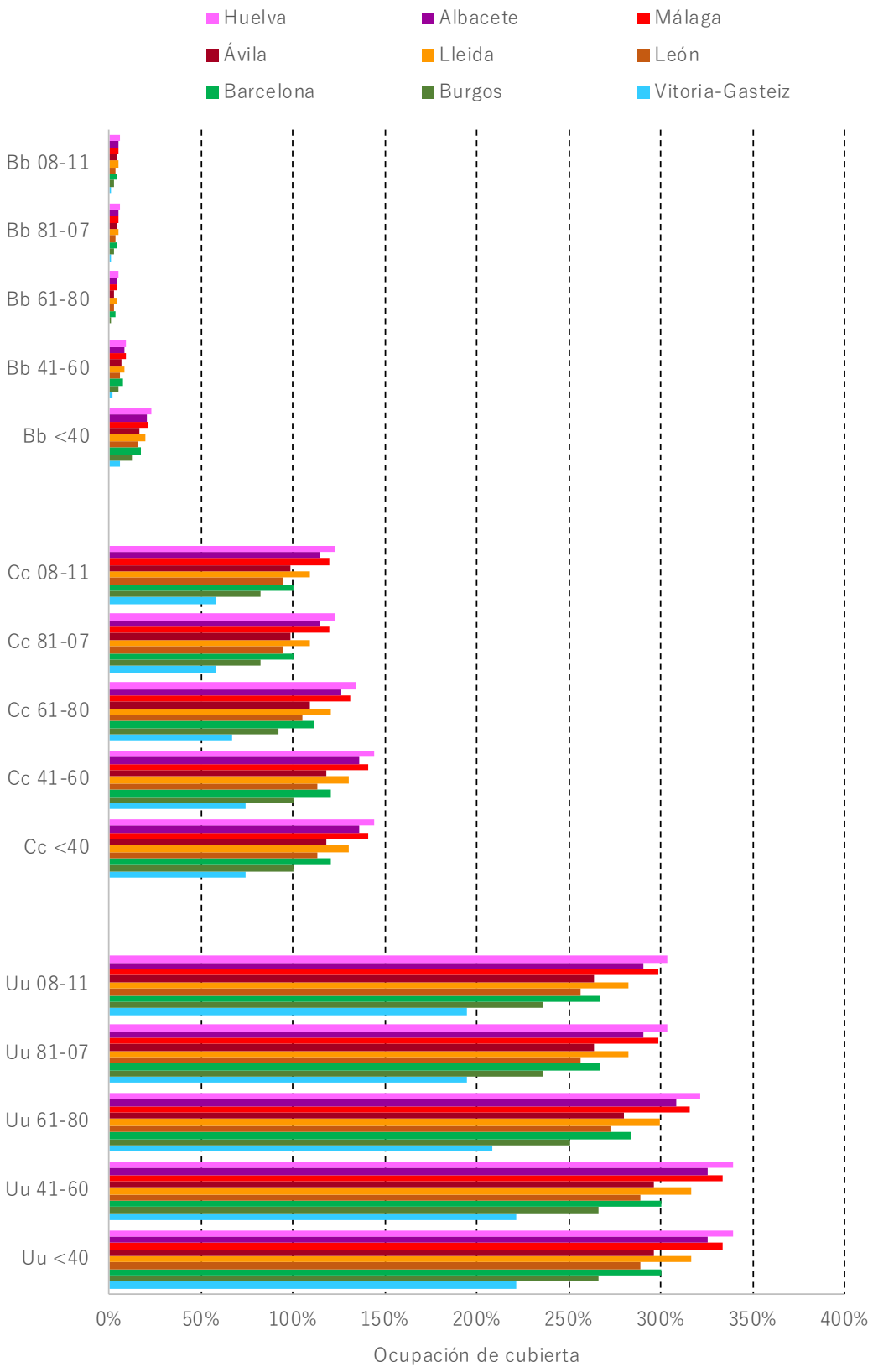
  La generación de excedentes seguiría siendo máxima en las viviendas unifamiliares (entre el 194 y 339% de la demanda eléctrica), media en viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (entre el 58 y el 144%) y mínima en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas (valores inferiores al 23%).

  La Tabla 9 muestra un resumen del análisis estadístico de las coberturas en las localidades analizadas.

Figura 27. Escenario 2: cobertura de las necesidades energéticas anuales para iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Escenario 2: generación de excedentes eléctricos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas.




Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Escenario 2: resumen de las coberturas de necesidades energéticas y generación de excedentes en las localidades seleccionadas.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, promedio | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, mínimo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, máximo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 299% | 299% | 282% | 266% | 266% |
| Excedentes, mínimo | 222% | 222% | 208% | 194% | 194% |
| Excedentes, máximo | 339% | 339% | 321% | 304% | 304% |
| | Cc <40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, promedio | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, mínimo | 100% | 100,0% | 100% | 100% | 100% |
| Iluminación y electrodomésticos, máximo | 100% | 100,0% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 120% | 120% | 111% | 100% | 100% |
| Excedentes, mínimo | 74% | 74% | 67% | 58% | 58% |
| Excedentes, máximo | 144% | 144% | 135% | 123% | 123% |
| | Bb <40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos, promedio | 80% | 65% | 54% | 59% | 59% |
| Iluminación y electrodomésticos, mínimo | 68% | 51% | 40% | 43% | 43% |
| Iluminación y electrodomésticos, máximo | 87% | 73% | 61% | 68% | 68% |
| Excedentes, promedio | 17% | 7% | 3% | 4% | 4% |
| Excedentes, mínimo | 6% | 2% | 0% | 1% | 1% |
| Excedentes, máximo | 23% | 9% | 5% | 6% | 6% |

Fuente: elaboración propia.

- Escenario 3: uso fotovoltaico ampliado.

  Las figuras siguientes (Figura 29, Figura 30 y Figura 31) muestran el grado de cobertura de las necesidades energéticas consideradas en los periodos de calefacción y refrigeración, así como la generación de excedentes en porcentaje respecto de la demanda eléctrica anual. Al igual que en los escenarios anteriores, la cobertura de demanda energética para agua caliente sanitaria es en todos los casos el 60%.

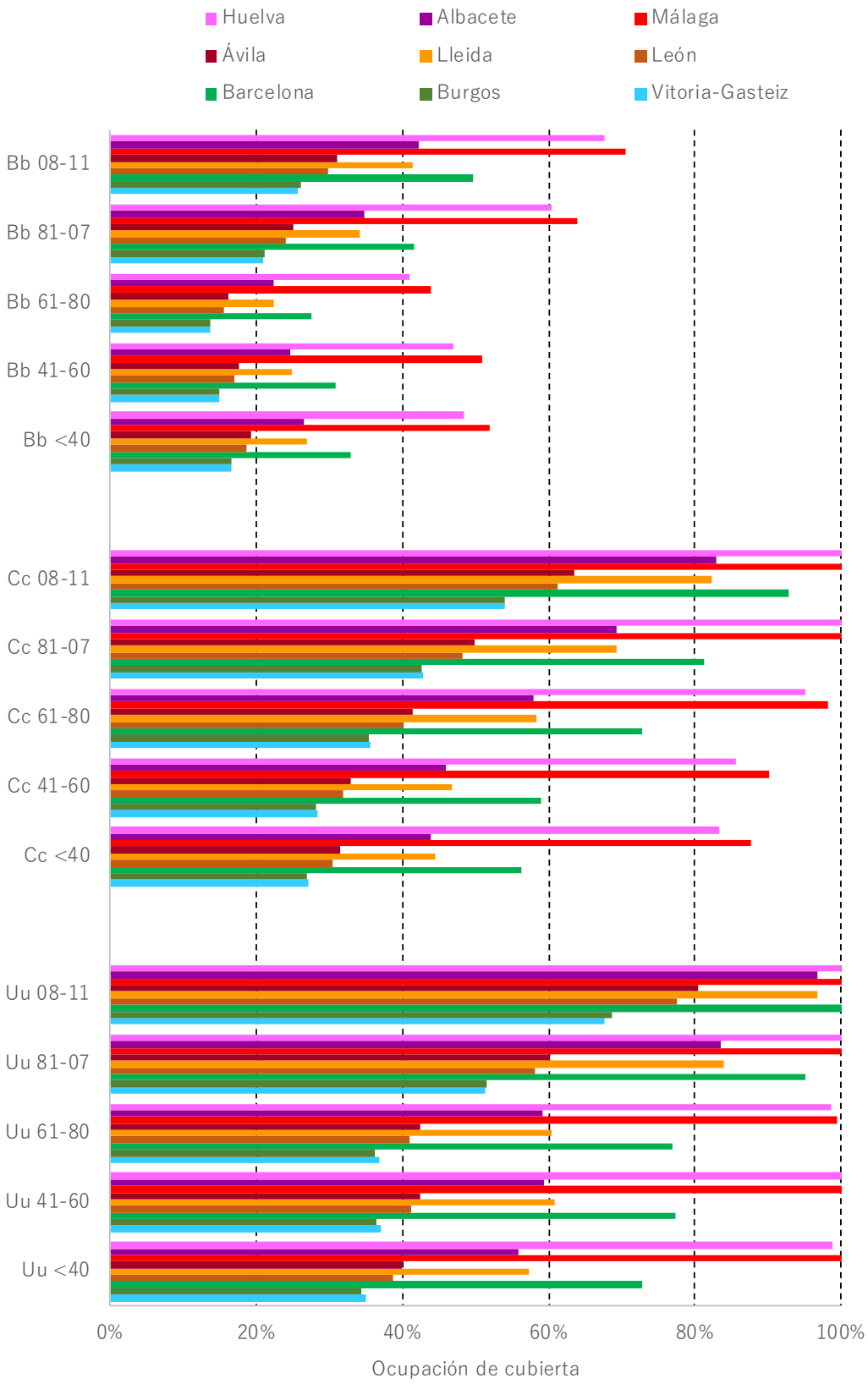
  En lo que respecta a la cobertura de necesidades energéticas en el periodo de calefacción (calefacción, iluminación y electrodomésticos), se observan valores comprendidos entre el 34 y el 100% en las viviendas unifamiliares (clústers Uu), entre el 27 y el 100% en viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (clústers Cc) y entre el 14 y el 70% en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas.

  En cuanto a la cobertura de necesidades energéticas en el periodo de refrigeración (iluminación y electrodomésticos), es del 100% en las viviendas unifamiliares y viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas. En las viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas la cobertura está entre un 73 y un 100%.

  Por último, la generación de excedentes sería máxima en las viviendas unifamiliares (entre el 163 y 304% de la demanda eléctrica), media en viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas (entre el 69 y el 135%) y mínima en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas (valores inferiores al 32%).

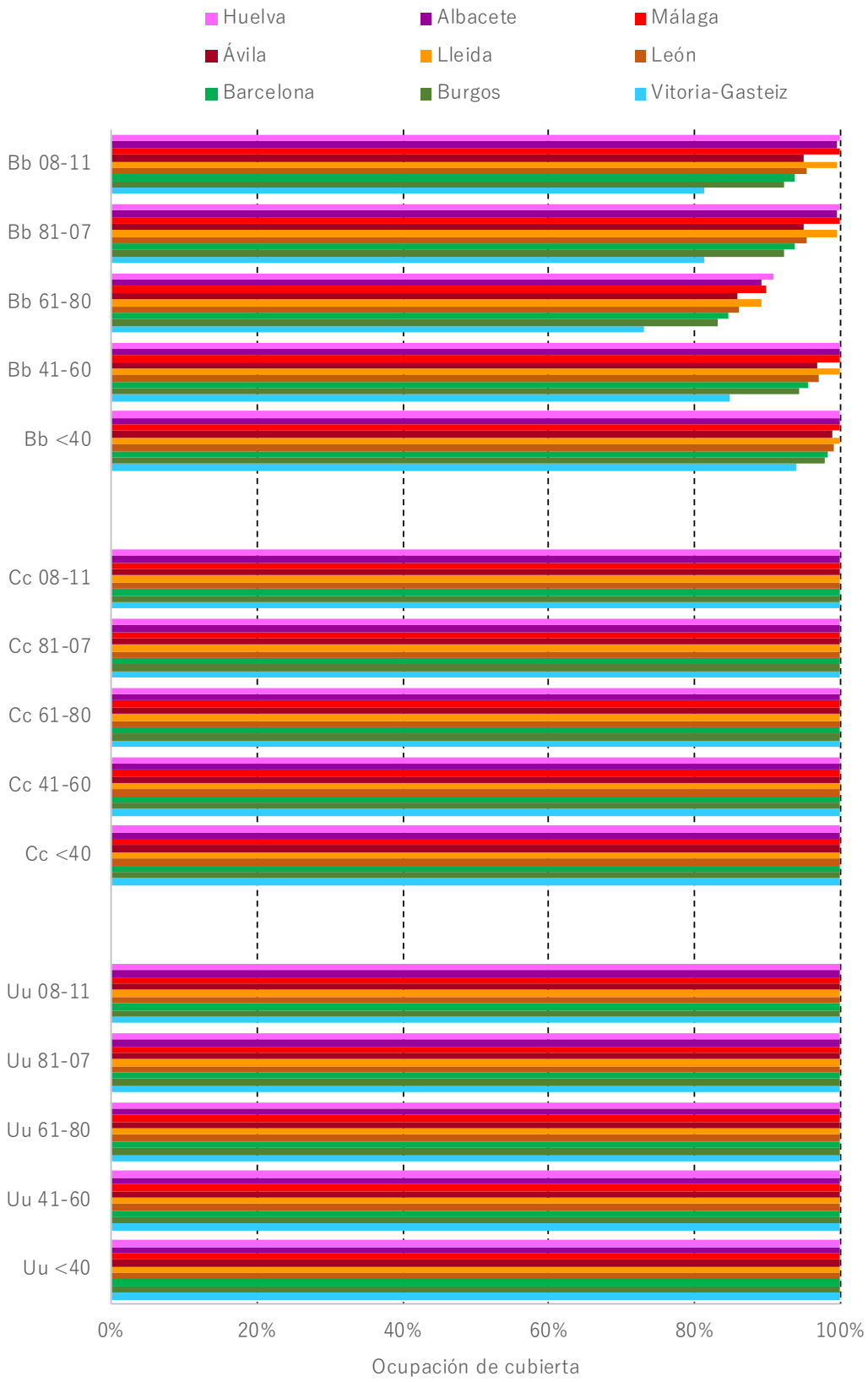
  La Tabla 10 muestra un resumen del análisis estadístico de las coberturas en las localidades analizadas.

Figura 29. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción: calefacción, iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas.



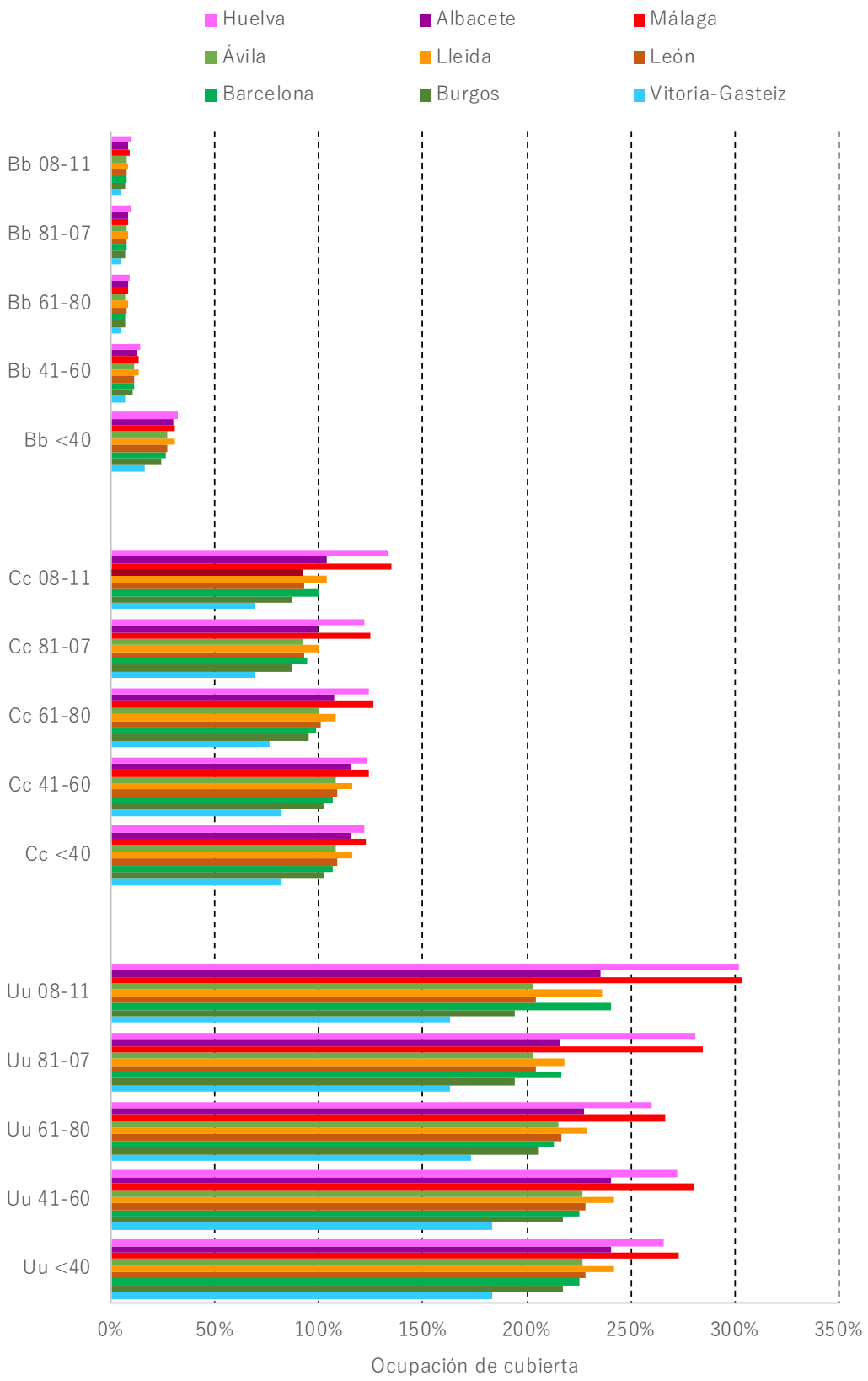

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de refrigeración: iluminación y electrodomésticos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas.




Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Escenario 3: generación de excedentes eléctricos. Selección de localidades representativas de las zonas climáticas españolas.




Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Escenario 2: resumen de las coberturas de necesidades energéticas y generación de excedentes en las localidades seleccionadas.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción(*), promedio | 59% | 62% | 61% | 76% | 88% |
| Periodo de calefacción, mínimo | 34% | 36% | 36% | 51% | 68% |
| Periodo de calefacción, máximo | 100% | 100% | 99% | 100% | 100% |
| Periodo de refrigeración(**), promedio | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Periodo de refrigeración, mínimo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Periodo de refrigeración, máximo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 233% | 235% | 223% | 220% | 231% |
| Excedentes, mínimo | 183% | 183% | 173% | 163% | 163% |
| Excedentes, máximo | 273% | 280% | 267% | 285% | 304% |
| | **Cc <40** | **Cc 41-60** | **Cc 61-80** | **Cc 81-07** | **Cc 08-11** |
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción(*), promedio | 48% | 50% | 59% | 70% | 77% |
| Periodo de calefacción, mínimo | 27% | 28% | 35% | 43% | 54% |
| Periodo de calefacción, máximo | 88% | 90% | 98% | 100% | 100% |
| Periodo de refrigeración(**), promedio | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Periodo de refrigeración, mínimo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Periodo de refrigeración, máximo | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 109% | 110% | 104% | 98% | 102% |
| Excedentes, mínimo | 82% | 82% | 76% | 69% | 69% |
| Excedentes, máximo | 123% | 124% | 126% | 124% | 135% |
| | **Bb <40** | **Bb 41-60** | **Bb 61-80** | **Bb 81-07** | **Bb 08-11** |
| Agua caliente sanitaria, promedio | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, mínimo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Agua caliente sanitaria, máximo | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción(*), promedio | 30% | 27% | 24% | 36% | 43% |
| Periodo de calefacción, mínimo | 17% | 15% | 14% | 21% | 26% |
| Periodo de calefacción, máximo | 52% | 51% | 44% | 64% | 70% |
| Periodo de refrigeración(**), promedio | 99% | 97% | 86% | 95% | 95% |
| Periodo de refrigeración, mínimo | 94% | 85% | 73% | 81% | 81% |
| Periodo de refrigeración, máximo | 100% | 100% | 91% | 100% | 100% |
| Excedentes, promedio | 27% | 12% | 7% | 8% | 8% |
| Excedentes, mínimo | 16% | 7% | 5% | 5% | 5% |
| Excedentes, máximo | 32% | 14% | 9% | 9% | 10% |

Notas:
(*) Calefacción, iluminación y electrodomésticos: (**) Iluminación y electrodomésticos.

Fuente: elaboración propia.

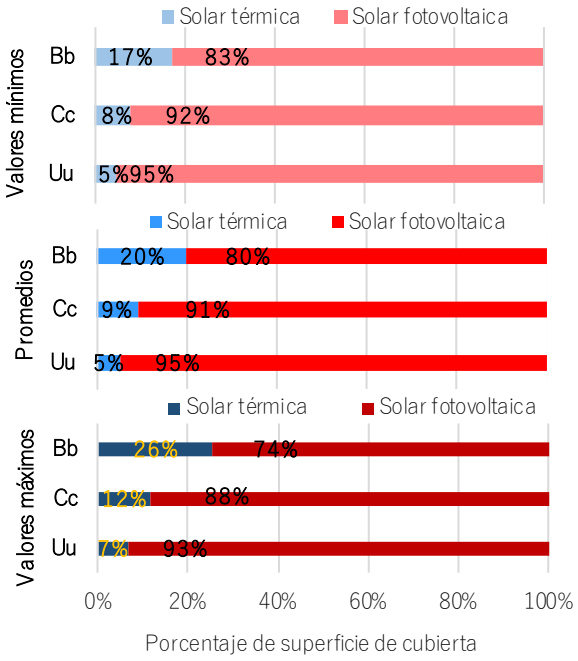
## 4.3.3. Resultados de todas las localidades

Se presentan en este apartado los resultados del conjunto de localidades analizadas en los tres escenarios. En el Anexo II se recogen los resultados numéricos correspondientes a cada localidad.

- Escenario 1: usos térmico y fotovoltaico.

  Se presenta en primer lugar (Figura 32) el reparto de ocupación de la superficie de cubierta entre las instalaciones solares térmicas y las instalaciones fotovoltaicas, diferenciando por tipo de edificio considerado (Uu, Cc y Bb). Se muestran en la parte superior de la figura los valores mínimos, en la parte central los promedios y en la parte inferior los valores máximos de ocupación. Como puede observarse, en promedio la ocupación de cubiertas por los colectores solares térmicos estaría entre un 5 y un 20%, siendo el resto ocupado por módulos fotovoltaicos.

Figura 32. Escenario 1: ocupación de cubiertas por instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas

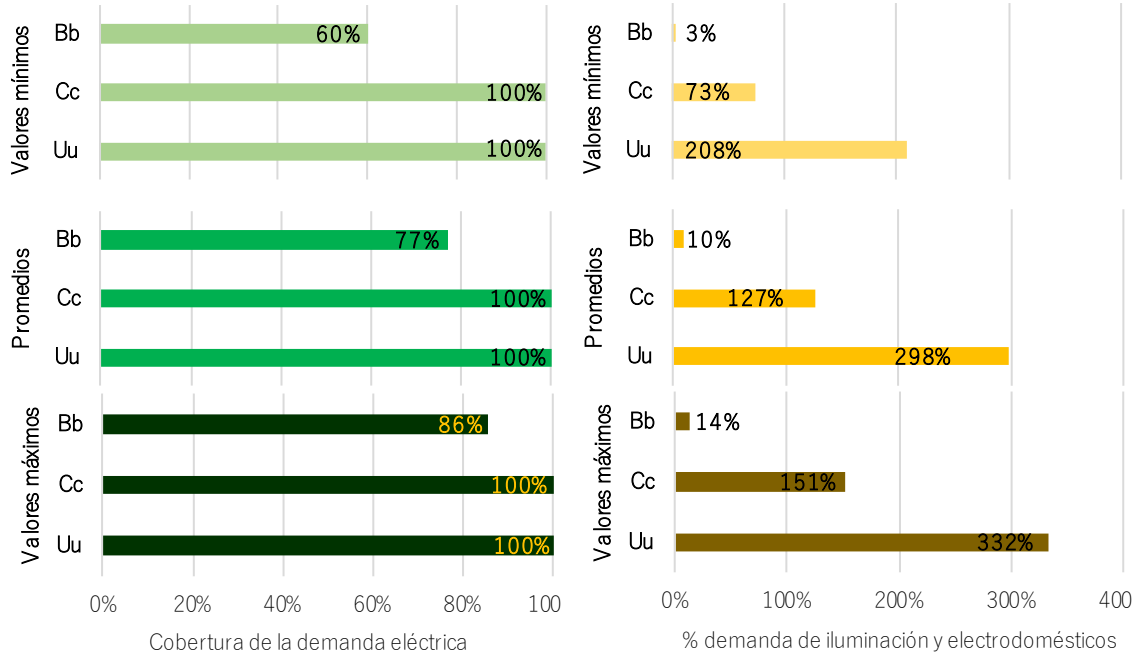



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente (Figura 33) se muestra la cobertura de la demanda eléctrica anual para iluminación y electrodomésticos por parte de las instalaciones solares fotovoltaicas, así como la producción de excedentes expresada como porcentaje de la demanda eléctrica anual. Se constata que se podría cubrir totalmente (100%) la demanda eléctrica anual de viviendas unifamiliares y edificios residenciales de hasta 3 plantas. En edificios de mayor altura la cobertura superaría el 60%. Asimismo (Figura 34), se producirían excedentes superiores a la propia demanda eléctrica anual en viviendas unifamiliares (entre 2 y 3,5 veces) y en edificios residenciales de hasta 3 alturas (entre 0,75 y 1,5 veces); en edificios de mayor altura los excedentes no superarían el 15% de la demanda.

Figura 33. Escenario 1: cobertura de la demanda eléctrica anual para iluminación y electrodomésticos

Figura 34. Escenario 1: generación de excedentes anuales, expresados en porcentaje de la demanda eléctrica




Fuente: Elaboración propia

- Escenario 2: uso fotovoltaico básico.

  En caso de uso exclusivo de las cubiertas para instalaciones fotovoltaicas, se produciría la cobertura de la demanda para iluminación y electrodomésticos mostrada en la Figura 35, así como la generación de excedentes de la Figura 36.

  Como era de esperar, se obtienen coberturas y excedentes ligeramente inferiores a los del escenario 1. No obstante, se mantiene la cobertura total de la demanda eléctrica en viviendas unifamiliares y edificios residenciales de hasta 3 plantas, siendo en edificios de mayor altura superior al 45%. Asimismo, los excedentes seguirían superando la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos en las viviendas unifamiliares (entre 2 y 3,5 veces dicha demanda) y en los edificios de hasta 3 alturas (entre 0,5 y 1,5 veces); en los de mayor altura los excedentes no superarían el 10% de dicha demanda.

Figura 35. Escenario 2: cobertura de la demanda eléctrica anual para acs, iluminación y electrodomésticos

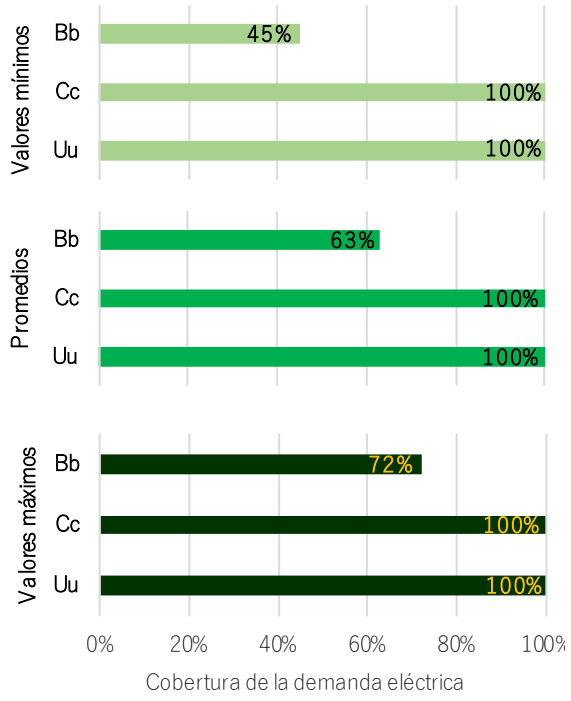
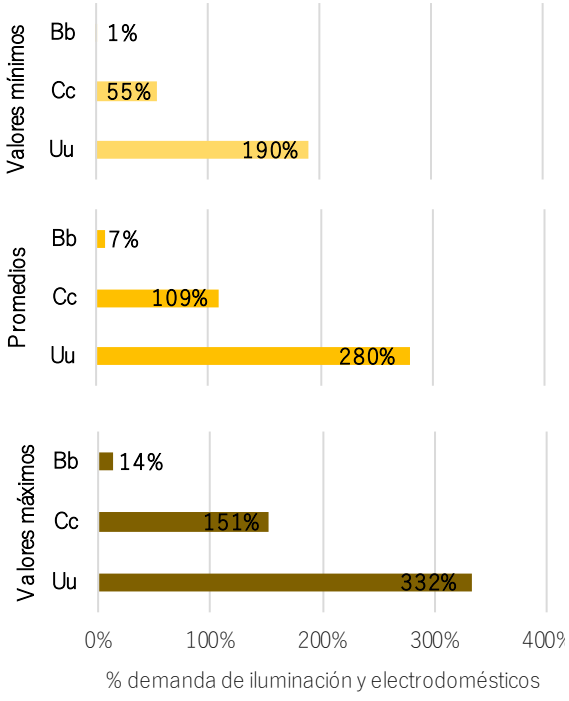



Figura 36. Escenario 2: generación de excedentes anuales, expresados en porcentaje de la demanda eléctrica




Fuente: Elaboración propia

- Escenario 3: uso fotovoltaico ampliado.

  Se muestran (Figura 37, Figura 38 y Figura 39), por último, las coberturas de la demanda en el periodo de calefacción (agua caliente sanitaria, calefacción, iluminación y electrodomésticos), en el periodo de refrigeración (agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos) y la generación de excedentes.

  Los resultados evidencian que, en viviendas unifamiliares, se cubriría entre el 66% y el 100% de la demanda energética en el periodo de calefacción, y el 100% el resto del año. Además, los excedentes anuales seguirían superando entre 1 y 3 veces la demanda para iluminación y electrodomésticos.

  En edificios de hasta 3 alturas la cobertura sería ligeramente inferior en el periodo de calefacción (55%-100%), así como los excedentes (0,5-1,5 veces la demanda para iluminación y electrodomésticos).

  En edificios de 4 o más alturas la cobertura en el periodo de calefacción estaría entre el 25-85% y entre un 77-100% el resto del año. La generación de excedentes sería inferior al 15% de la demanda anual para iluminación y electrodomésticos.

Figura 37. Escenario 3: cobertura de la demanda energética en el periodo de calefacción

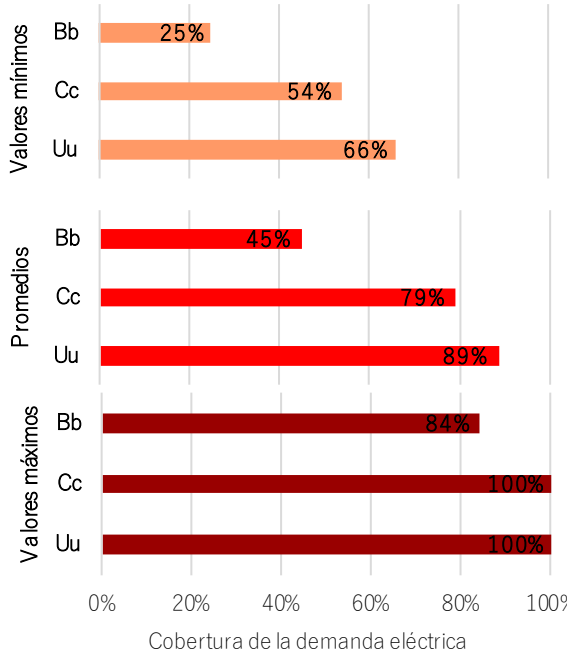



Figura 38. Escenario 3: cobertura de la demanda energética en el pèriodo de refrigeración

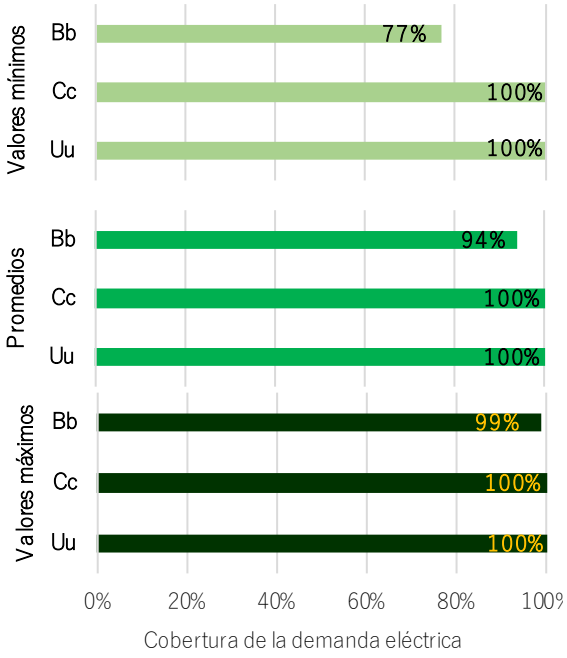
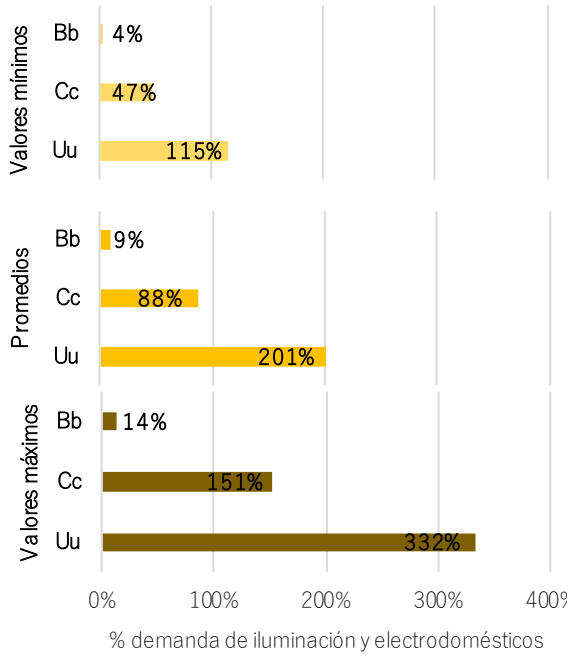



Figura 39. Escenario 3: generación de excedentes anuales, expresados en porcentaje de la demanda eléctrica de iluminación y electrodomésticos



## 4.4. Conclusiones

De los resultados presentados en los apartados anteriores se extraen las siguientes conclusiones:

- Los tres usos energéticos principales en los edificios residenciales que representan más del 90% del consumo de energía final son la calefacción, la iluminación y electrodomésticos y el agua caliente sanitaria, con pesos promedios sobre el consumo anual del 43%, 30% y 19% respectivamente en el periodo 2010-2017.

- Los usos mencionados son susceptibles de poderse abastecer localmente (en todo o en parte) mediante instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas. En particular, de los 3 escenarios definidos (en los que se ha fijado la cobertura del 60% de la demanda energética para agua caliente sanitaria) se concluye:

- En el primer escenario (uso compartido de las cubiertas para instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas) la cobertura de la demanda eléctrica es total en viviendas unifamiliares y viviendas de edificios plurifamiliares de hasta 3 plantas, y está entre un 60 y un 95% en viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más plantas. Igualmente elevados son los excedentes eléctricos anuales derivados de la producción fotovoltaica: entre 2-3 veces el consumo eléctrico anual en viviendas unifamiliares, valores comparables al consumo en viviendas de edificios de hasta 3 plantas y equivalentes al 30% del consumo en viviendas de edificios de mayor altura.

- En el segundo escenario (uso exclusivo de las cubiertas para instalaciones fotovoltaicas para cubrir la demanda para iluminación, electrodomésticos y producción de agua caliente sanitaria) los resultados son algo inferiores a los del escenario 1 en lo que respecta a la cobertura solar y la generación de excedentes (diferencias entre ambos escenarios inferiores al 20%).

- En el tercer escenario (uso exclusivo de las cubiertas para instalaciones fotovoltaicas para la producción de agua caliente sanitaria y la satisfacción de las necesidades de calefacción, iluminación y electrodomésticos):

    - La cobertura de la demanda en el periodo de calefacción está entre el 30 y el 100% en viviendas unifamiliares y viviendas de edificios de hasta 3 plantas, y entre el 14 y el 70% en viviendas de edificios plurifamiliares de mayor altura.

    - La cobertura de la demanda en el periodo de refrigeración es del 100% en las viviendas unifamiliares y viviendas de edificios de hasta 3 plantas, y es superior al 70% en viviendas de edificios plurifamiliares de mayor altura.

      La generación de excedentes es máxima en las viviendas unifamiliares (entre 1,5 y 3 veces la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos), media en viviendas de edificios de hasta 3 plantas (entre 0,7 y el 1,4 veces) y mínima en viviendas de edificios plurifamiliares de mayor altura (menos del 35%).

# 5. CARACTERIZACIÓN Y CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR POR TEJIDOS URBANOS

## 5.1. Metodología de cálculo

### 5.1.1. Datos de partida

En esta sección se realiza una selección y delimitación de los tejidos urbanos más representativos, presentes en las ciudades españolas, en los que se ubican los "edificios-tipo" de los clústeres planteados por el Ministerio para la actualización de la ERESEE 2020. La selección de estos clústeres se ha realizado desde el punto de vista de la eficiencia energética de las viviendas, dado que se persigue la agrupación de tipologías edificatorias, con el objeto de establecer criterios de actuación de mejora de su eficiencia energética.

La selección de los ámbitos donde se ubican los "edificios-tipo" se plantea en base a investigaciones previas del equipo redactor de este estudio y está centrada en los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid[24], ya que su extensión y complejidad comprende gran diversidad de tipologías presentes en las ciudades españolas. A pesar de ello, en este estudio no está demostrado que los tejidos urbanos seleccionados sean representativos para el resto de contextos urbanos de la geografía española, cuya amplitud y extensión superan el alcance del presente trabajo.

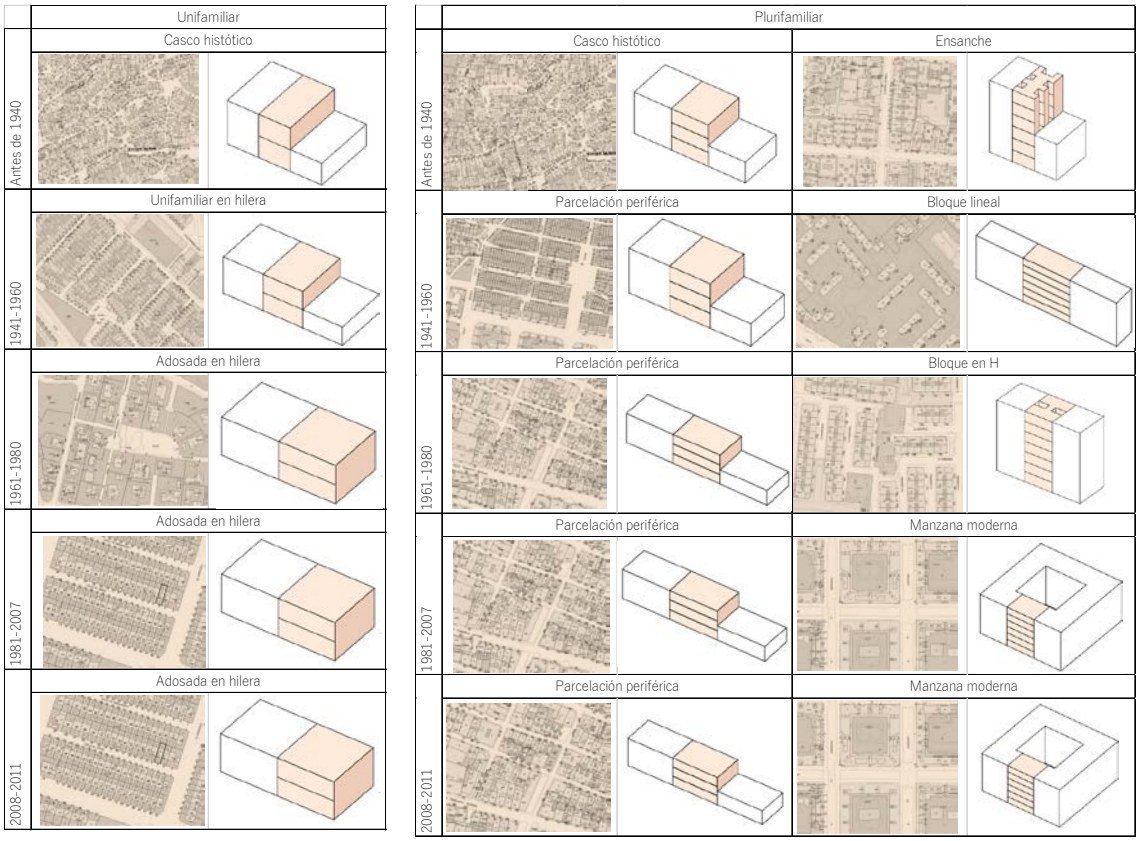
Figura 40. Asociación de clústeres y tejidos urbanos analizados

| CLÚSTER | TEJIDO URBANO |
|---|---|
| Uu < 40 | Vivienda unifamiliar aislada |
| Uu 41-60 + Uu 61-80 + Uu 81-07 + Uu 08-11 | Vivienda unifamiliar en hilera |
| Cc <40 | Casco histórico |
| Cc 41-60 + Cc 61-80 + Cc 08-11 | Parcelación periférica |
| Bb <40 | Ensanche |
| Bb 41-60 | Bloque lineal |
| Bb 61-80 | Bloque en H |
| Bb 81-07 + Bb 08-11 | Manzana moderna |

Fuente: Elaboración propia

[24] Neila González, F.J.; Sánchez-Guevara, C.; Núñez Peiro, M.; Román, E.; López, H.; Gómez, G.; De Luxán, M. 2020. Isla de calor, clima urbano y consumo energético de edificios. Proyecto modifica. García-Marotio Editores.

Figura 41. Asociación de clústeres y tejidos urbanos analizados. Esquemás gráficos




Fuente: Elaboración propia a partir de Arcas-Abella et al. 2018 y Neila González et al., 2020.

## 5.1.2. Selección y delimitación de tejidos urbanos

Las tipologías analizadas comprenden diferentes contextos urbanos, desde casco histórico, ensanche, bloque lineal, manzana moderna, vivienda aislada, etc., así como diversas tipologías de viviendas (unifamiliar, en hilera, en bloque, etc.). La selección de tejidos urbanos madrileños se detalla en el siguiente cuadro resumen:

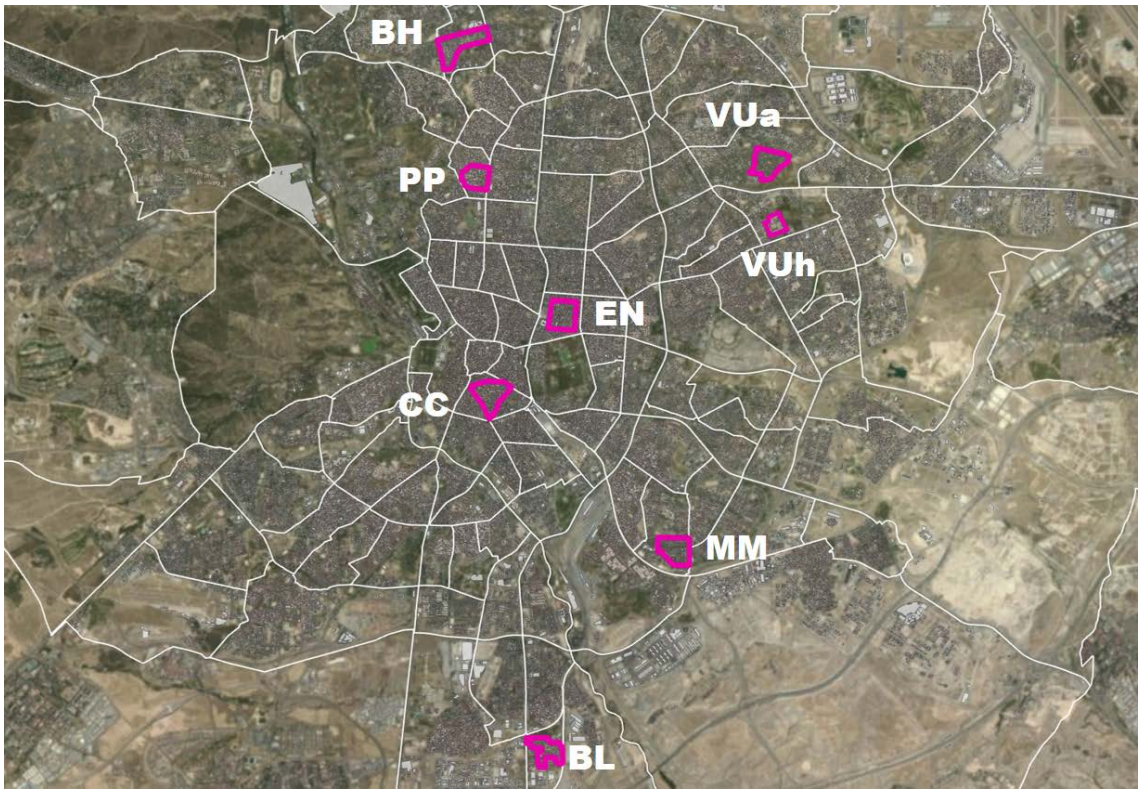
Tabla 11. Tipología y ubicación de tejidos urbanos analizados

| TIPOLOGÍA DE TEJIDO URBANO | CÓDIGO | DISTRITO | BARRIO |
|---|---|---|---|
| Vivienda Unifamiliar aislada | VUa | Hortaleza | Piovera |
| Vivienda Unifamiliar en hilera | VUh | S. Blas - Canillejas | Salvador |
| Casco Histórico | CH | Centro | Embajadores (Lavapiés) |
| Parcelación Periférica | PP | Tetuán | Bellas Vistas |
| Ensanche | EN | Salamanca | Recoletos |
| Bloque Lineal | BL | Villaverde | San Cristóbal de los Ángeles |
| Bloque en H | BH | Fuencarral-El Pardo | El Pilar |
| Manzana Moderna | MM | Puente de Vallecas | Palomeras Bajas |

Fuente: Elaboración propia

La ubicación geográfica de los casos de estudio está relacionada también con la época de construcción, desde las zonas más céntricas, que suelen corresponder con los tejidos más antiguos, hasta las periferias madrileñas, que albergan en su mayoría los desarrollos urbanos de los últimos años.

Figura 42. Mapa de ubicación de los Tejidos urbanos analizados



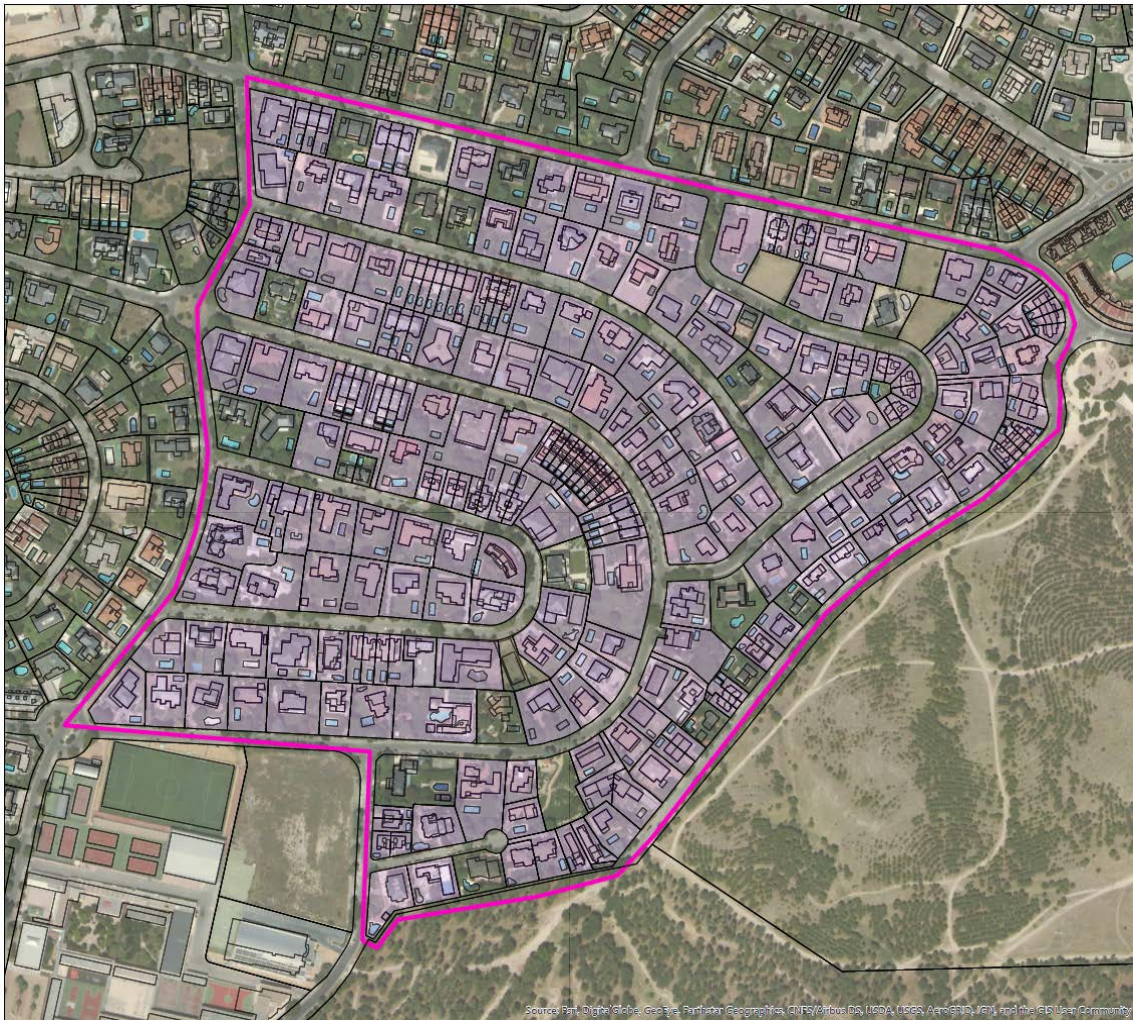

Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

A continuación, se describe sintéticamente las carácterísticas más representativas de cada tejido urbano seleccionado.

### 5.1.2.1. Vivienda Unifamiliar Aislada (VUa)

El área de estudio está ubicada en el distrito de Hortaleza, en el barrio de Piovera. Tiene una superficie aproximada de 32,77 hectáreas y está delimitada al norte por la Avenida de los Madroños, al este por la Avenida del Papa Negro, al sur por la Ronda Abubilla, y al oeste por la Ronda de Sobradiel y la Calle del Sotillo.

Figura 43. Delimitación del área de estudio – Vivienda Unifamiliar Aislada



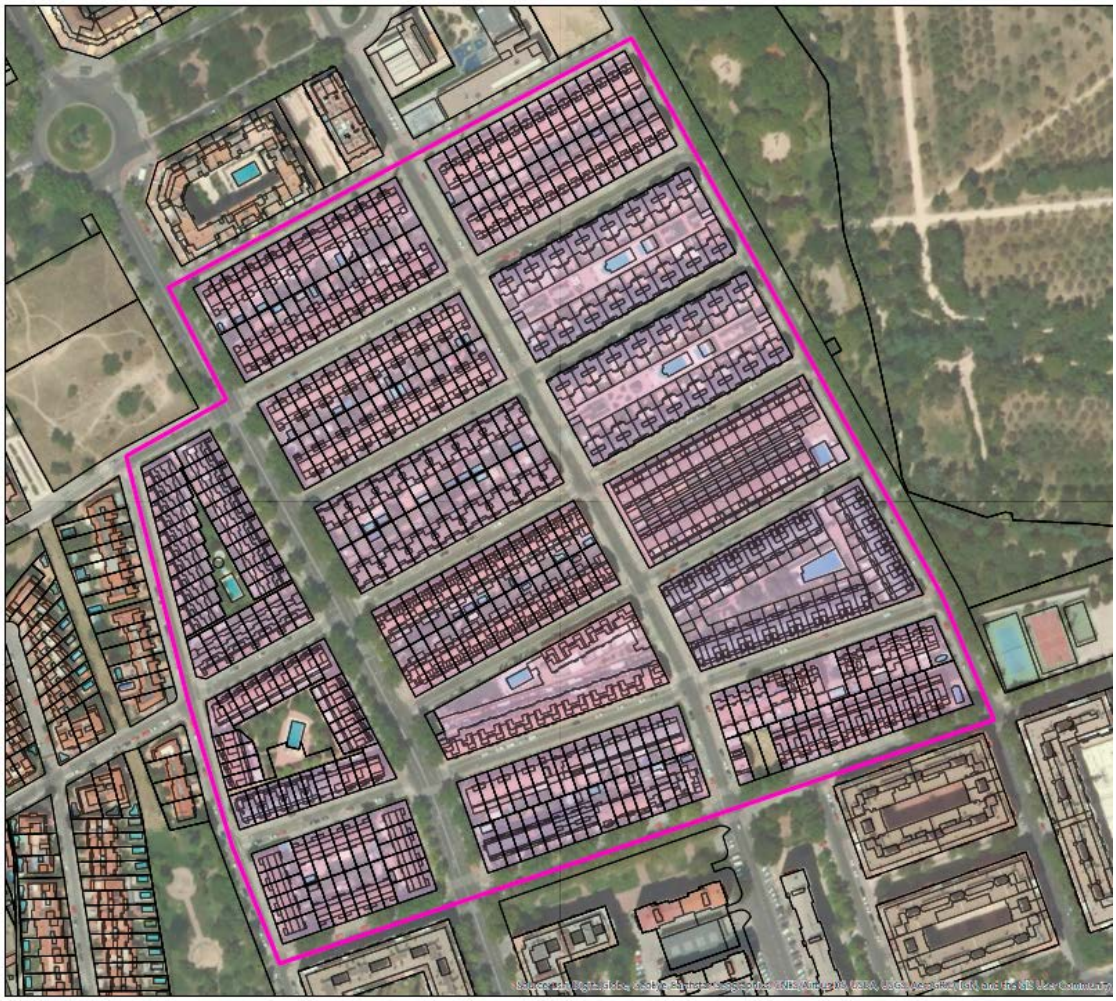
Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

Es un barrio residencial conformado por viviendas unifamiliares aisladas ubicadas en amplias parcelas, con vegetación. La trama urbana se ha desarrollado de forma poco ordenada y, aunque en los años 30 comenzó su parcelación y urbanización, el verdadero impulso en la construcción de las viviendas se realizó en los años 60. La mayoría de las edificaciones son de 1-2 plantas, con cubiertas predominantemente inclinadas, aunque también las hay con cubierta plana.

### 5.1.2.2. Vivienda Unifamiliar en Hilera o Adosada (VUh)

El ámbito analizado está ubicado en el distrito de San Blas-Canillejas, en el barrio de Salvador. Tiene una superficie aproximada de 11,57 hectáreas y está delimitado al norte por la Calle Tabatinga, al este por la Calle Miami y la Quinta de los Molinos, al sur por la calle Iquitos y al oeste por la Calle Riobamba y la Calle de Tampico.

Figura 44. Delimitación del área de estudio – Vivienda Unifamiliar en Hilera



Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

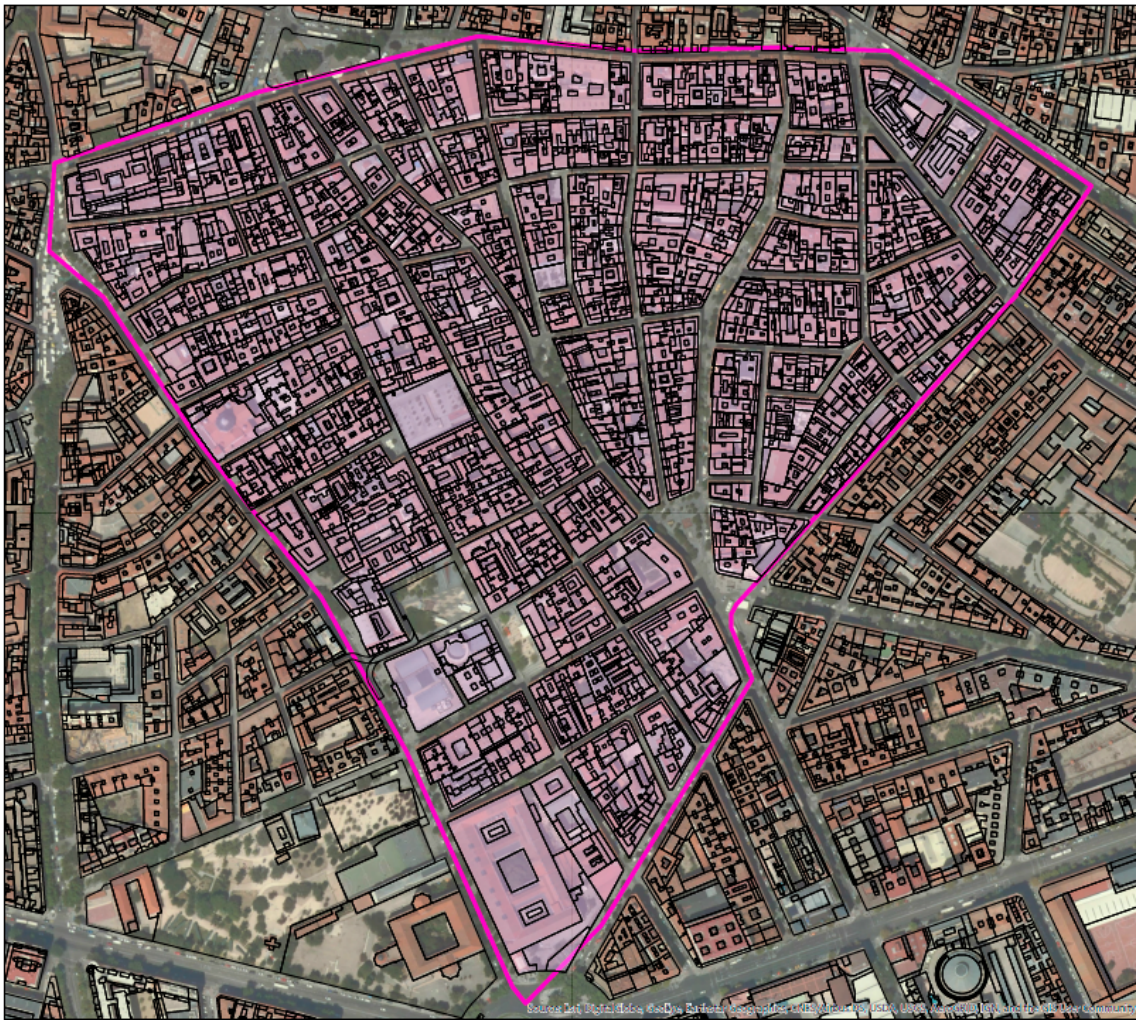
Es un área principalmente residencial, compuesta por viviendas unifamiliares adosadas en hilera, de 2 plantas y cubiertas inclinadas, con mansardas y parcela individual (en algunas zonas también con espacios exteriores comunes)

La estructura urbana se ordena en forma de retícula ortogonal, con calles jerarquizadas. La mayoría de los edificios son de reciente construcción.

### 5.1.2.3. Casco Histórico (CH)

El área de estudio está ubicada en el distrito de Centro, en el barrio de Embajadores. Tiene una superficie aproximada de 34,94 hectáreas y está delimitada al norte por la Calle del Duque de Alba, la Plaza de Tirso de Molina y la Calle de la Magdalena, al este por la Calle de San Eugenio, Calle de Zurita, calle de Miguel Servet, y al oeste por la Calle de Embajadores y la Plaza del Cascorro.

Figura 45. Delimitación del área de estudio – Casco Histórico



Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

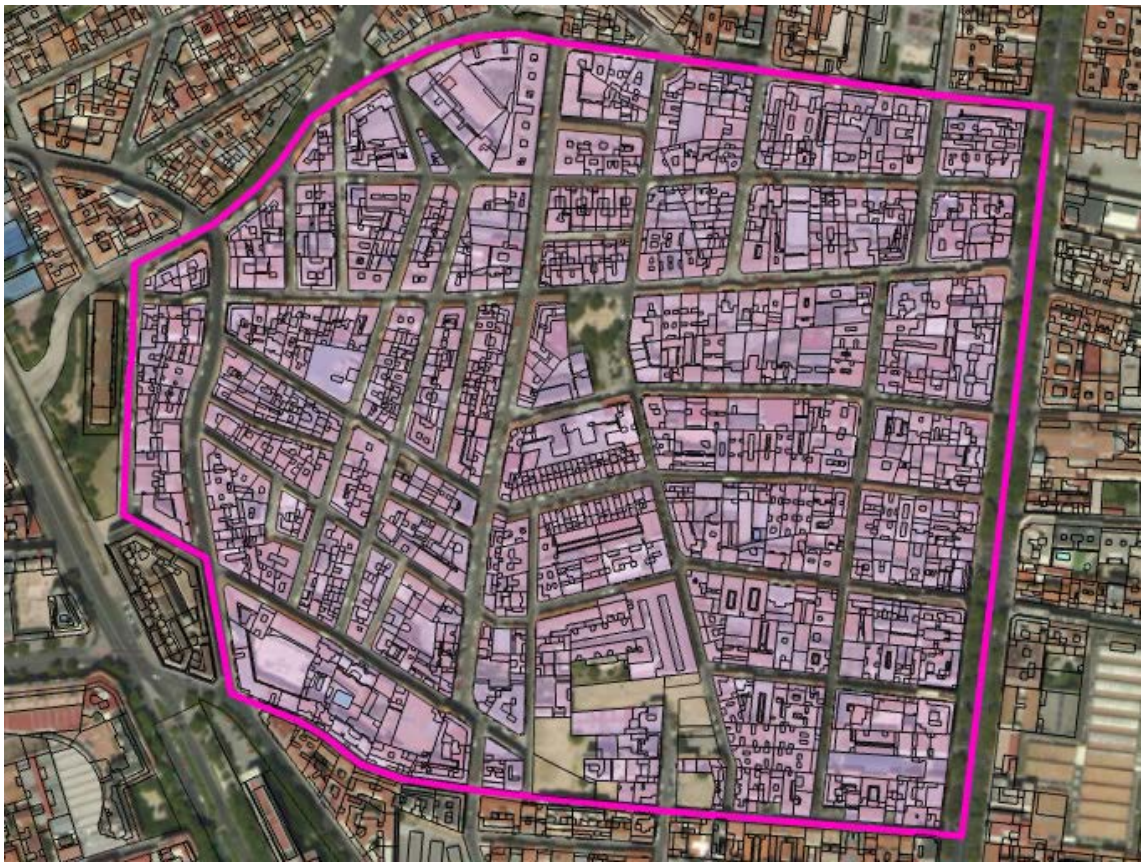
La disposición de calles es característica de los cascos históricos, con vías estrechas multiorientadas y edificios de vivienda colectiva entre medianeras. La proporción alargada de las parcelas obliga a la aparición de patios interiores en la mayoría de los edificios, con 3 o más alturas.

Aunque el origen del barrio se relaciona con los asentamientos comerciales extramuros de finales del s. XV, la mayoría de las edificaciones existentes en la actualidad son del s. XVIII y XIX. Prácticamente todas las cubiertas son inclinadas, con casetones de escaleras y ascensores, así como mansardas.

### 5.1.2.4. Parcelación Periférica (PP)

El área de estudio está ubicada en el distrito de Tetuán, en el barrio de Bellas Vistas. Tiene una superficie aproximada de 23,97 hectáreas y está delimitada al norte por la Calle de Castilla, al este por la Calle de Bravo Murillo, al sur por la Calle de Almansa, y al oeste por la Avenida del Dr. Federico Rubio y Galí y la Calle de San Rogelio.

Figura 46. Delimitación del área de estudio – Parcelación Periférica



Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

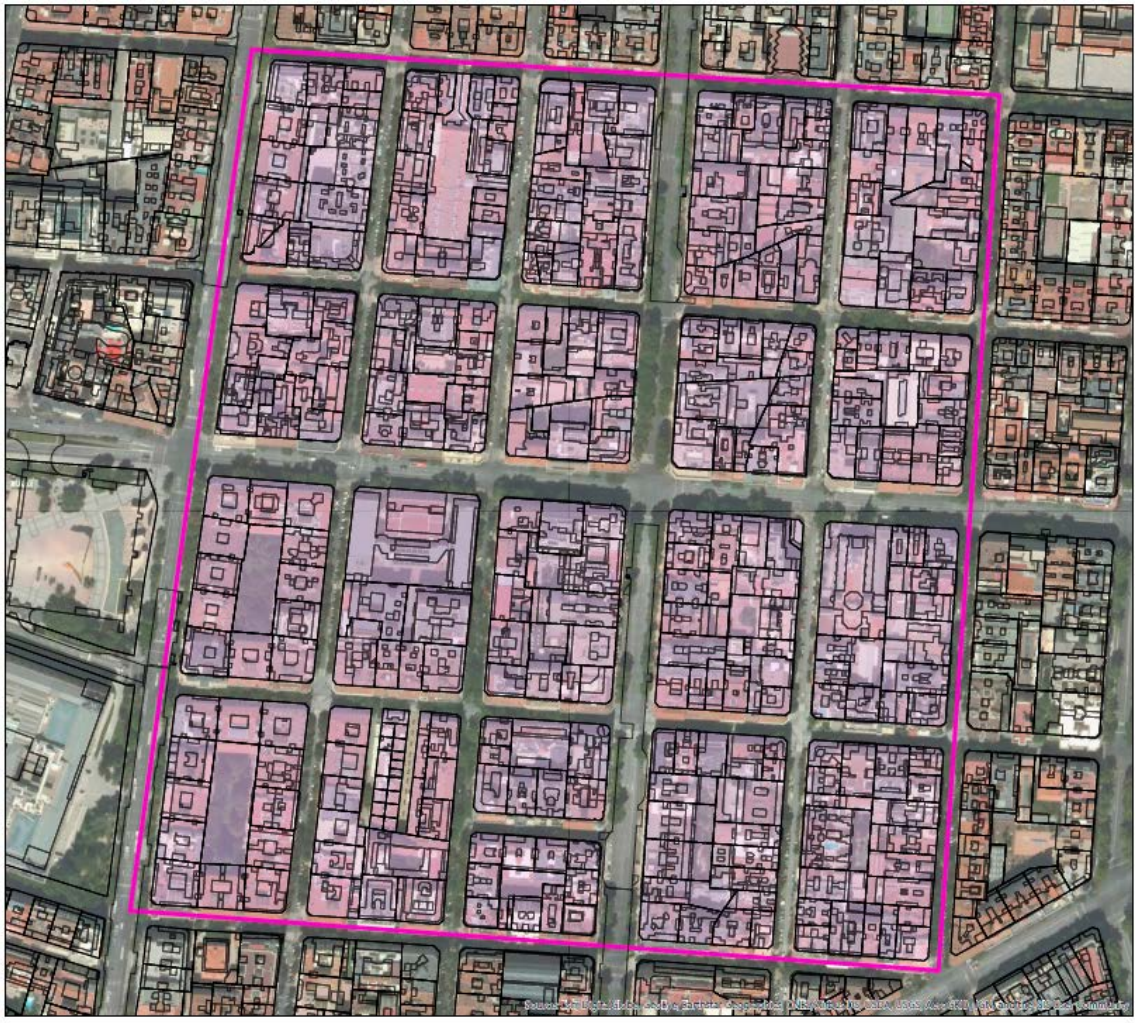
Aunque el origen del barrio data de mediados del s. XIX, es a partir de principios del s. XX cuando se desarrolla con mayor intensidad, como consecuencia de la población que emigraba a Madrid y se instalaba en los barrios del extrarradio.

El tejido urbano se caracteriza por tener una estructura bastante heterogénea, con manzanas irregulares cerradas y edificios de vivienda colectiva entre medianeras. La proporción de las parcelas, en muchos casos estrechas y profundas, obliga a la existencia de patios interiores. Los edificios, con cubiertas planas e inclinadas, tienen poca altura (2-3 plantas) y cierto carácter rural. En muchos casos carecen de ascensor.

### 5.1.2.5. Tejido Ensanche (EN)

El ámbito seleccionado para el estudio de este tipo de tejido urbano está ubicado en el distrito de Salamanca, concretamente en el barrio de Recoletos. Tiene una superficie aproximada de 32,07 hectáreas y está delimitado al norte por la Calle de Ayala, al este por la Calle de Castelló, al sur por la Calle de Villanueva y al oeste por la Calle de Serrano.

Figura 47. Delimitación del área de estudio – Ensanche



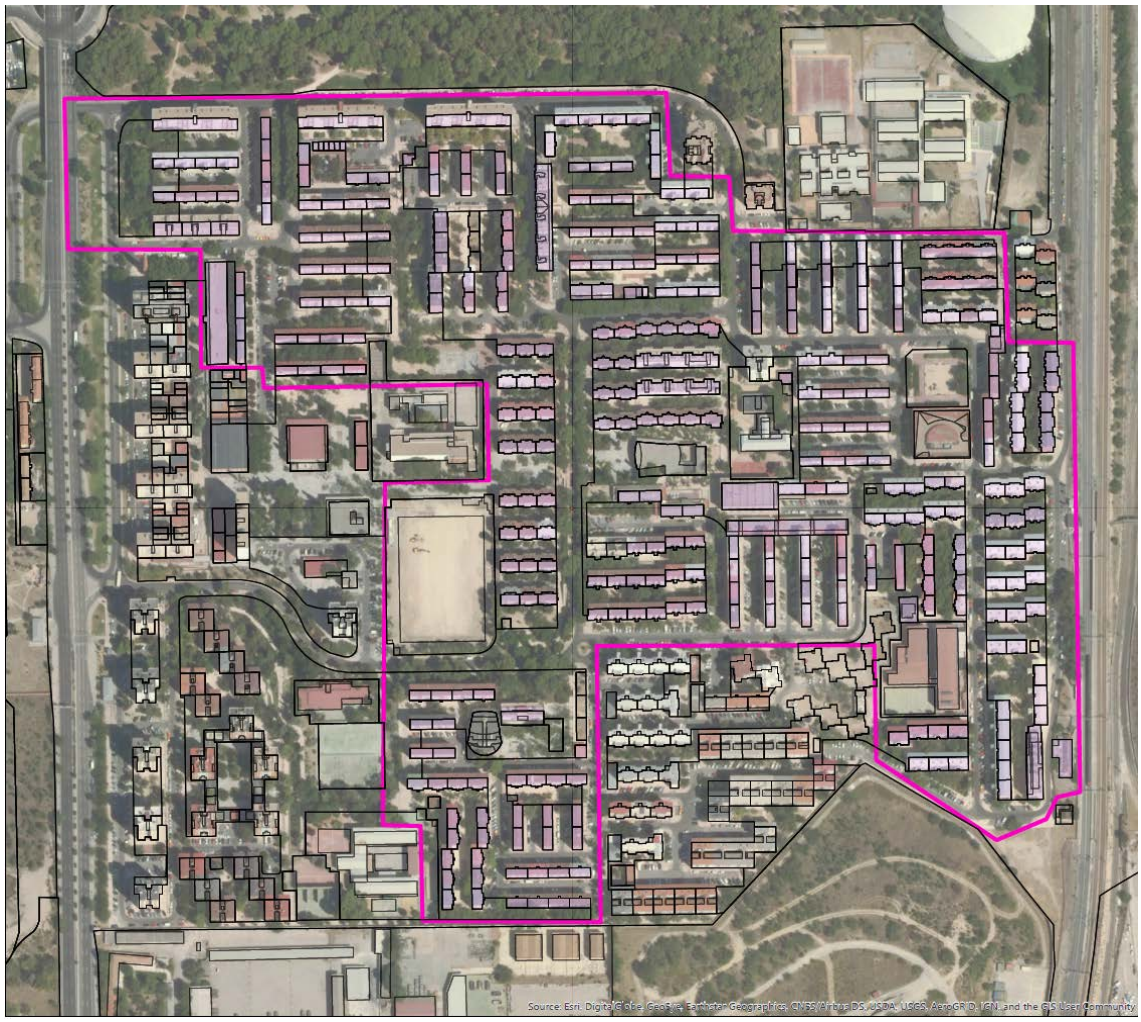
Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

Se caracteriza por tener una estructura en retícula muy definida, con calles jerarquizadas y perpendiculares entre sí. El barrio es principalmente residencial, empresarial y comercial y fue construido en la segunda mitad del s. XIX. Los edificios, de vivienda colectiva entre medianeras (plurifamiliar), se caracterizan por estar ubicados en manzanas rectangulares con un patio central de manzana que, en muchas ocasiones, ha sido totalmente colmatado por diversas construcciones, transformando su estado original. A pesar del patio de manzana, la configuración y profundidad de las parcelas obliga a que también existan patios interiores en los edificios. Por este motivo existen multitud de casos respecto a las orientaciones de las fachadas: a espacio exterior, a patio de manzana, a patio interior, etc. Las cubiertas son planas e inclinadas, con mansardas y otro tipo de elementos sobresalientes, como cajas de ascensor y escaleras.

## 5.1.2.6. Bloque Lineal (BL)

El área de estudio está ubicada en el distrito de Villaverde, concretamente en el barrio de San Cristóbal de los Ángeles. Tiene una superficie aproximada de 26,55 hectáreas y está delimitada al norte por la Calle Burjasot y el Parque Dehesa Boyal, al este por la calle de Paterna y las vías del tren, al sur por la Calle de Rocafort y la Calle de Godella y al oeste por el Paseo de María Droc y la Avenida de Andalucía.

Figura 48. Delimitación del área de estudio – Bloque Lineal



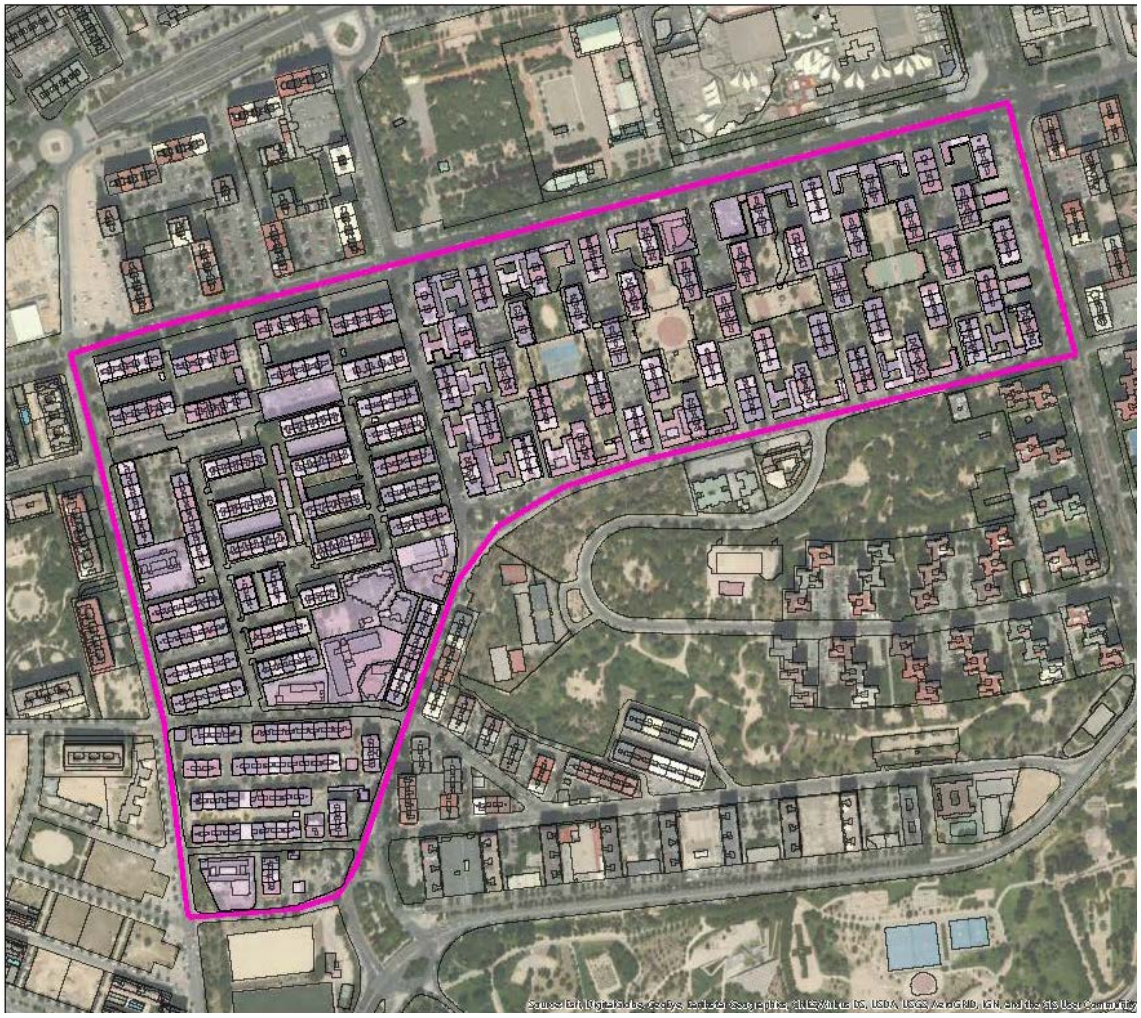

Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

La trama urbana se estructura en conjuntos de bloques lineales mutiorientados y perpendiculares entre sí (con ejes de desarrollo norte/sur y este/oeste). Es un barrio residencial, construido en los años 50, compuesto principalmente por edificios de vivienda colectiva, con dos viviendas por planta y núcleo de comunicación vertical en el centro. Las edificaciones, con cubiertas ligeramente inclinadas y planas, superan las 4-5 plantas en la mayoría de los casos, llegando a 10 en los bloques de la zona norte, en la calle Burjasot.

### 5.1.2.7. Tejido Bloque en H (BH)

El área de estudio se ubica al noroeste de Madrid, en el distrito de Fuencarral-El Pardo, concretamente en el Barrio del Pilar. Tiene una superficie aproximada de 40,39 hectáreas y está delimitada al norte por la Avenida Monforte de Lemos, al oeste por la calle Camino de Ganapanes, al sur por la Calle Becerreá, Avenida de Betanzos y Calle de Melchor Fernández y al este por la Calle Ginzo de Limia.

Figura 49. Delimitación del área de estudio – Bloque en H



Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

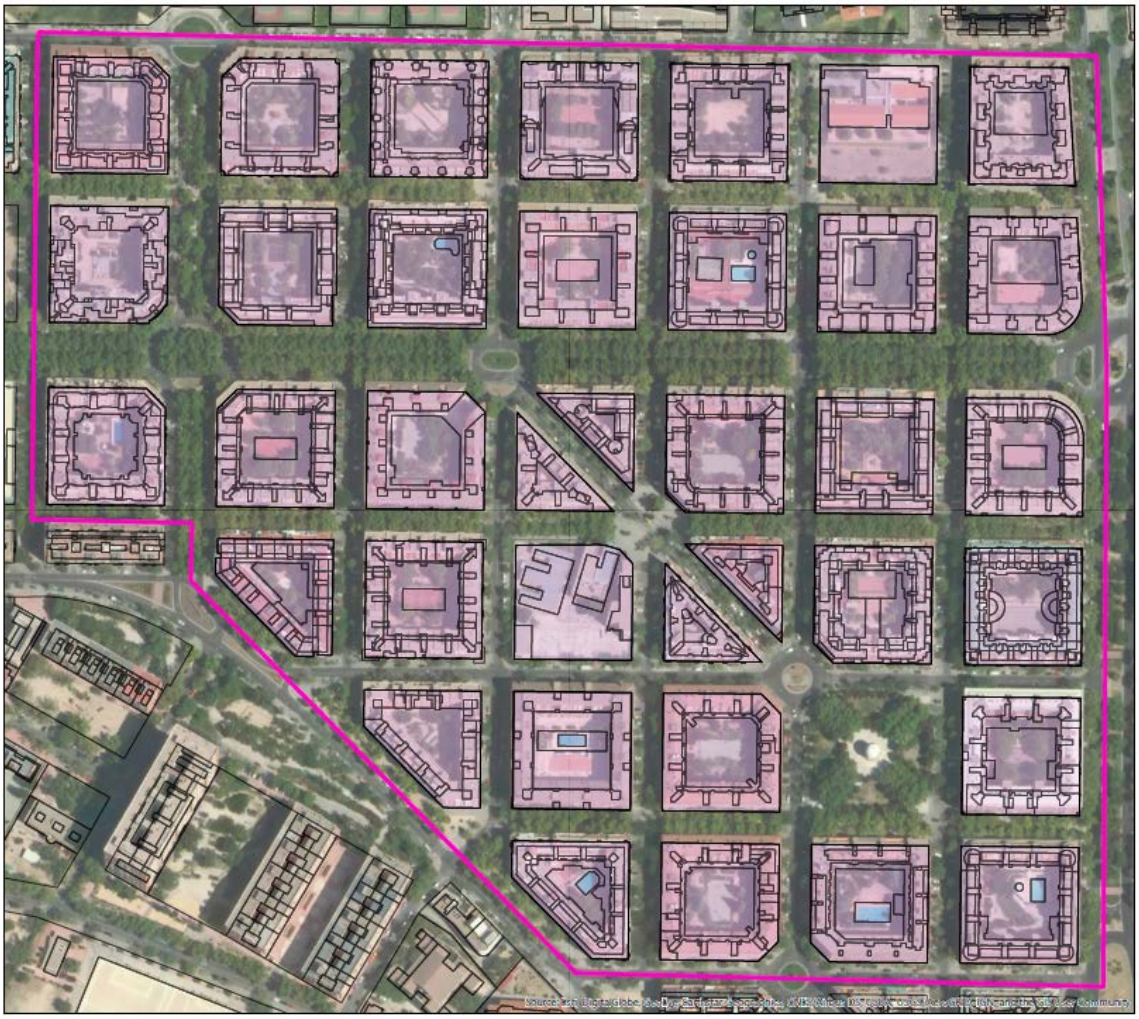
Es un área fundamentalmente residencial, con una estructura urbana conformada por edificios de vivienda colectiva de más de 3 plantas de altura (en algunos casos incluso 10 plantas), construidos principalmente en el periodo comprendido entre 1960-1980, con un alto porcentaje de cubiertas planas. Esta tipología de edificios se caracteriza por tener una disposición en planta de cuatro viviendas, con fachadas orientadas hacia el exterior y a patios interiores, con núcleo de comunicaciones común.

El espacio exterior está organizado por la estructura de bloques multiorientados, quedando ámbitos de grandes dimensiones entre ellos, que son utilizados como zonas de aparcamiento, plazas y áreas deportivas.

### 5.1.2.8. Manzana Moderna (MM)

El caso de estudio se ubica en el distrito de Puente de Vallecas, en el barrio de Palomeras Bajas. Tiene una superficie aproximada de 32,50 hectáreas y está delimitado al norte por la Calle la Diligencia, al este por la Avenida de Buenos Aires, al sur por la Avenida del Parque de Palomeras Bajas, y al oeste por la Calle el Padrino.

Figura 50. Delimitación del área de estudio – Manzana Moderna



Fuente: Elaboración propia a partir de PNOA

El ámbito tiene una estructura urbana reticular, con calles jerarquizadas y perpendiculares entre sí, y está compuesto por bloques de vivienda colectiva en manzana cerrada, con un gran espacio central. Esta tipología se corresponde con los nuevos ensanches urbanos construidos desde finales del s.XX hasta principios del XXI. Suelen estar constituidos por viviendas pasantes (con fachadas al patio de manzana y a la calle) y con núcleo vertical de comunicaciones cada dos viviendas.

Las edificaciones son en su mayoría de 4-5 plantas, con cubiertas inclinadas y planas y numerosos elementos sobresalientes, como cajas de escalera, ascensor y espacios para instalaciones.

## 5.1.3. Procesamiento de los datos y flujo de Trabajo

continuación se explica, de forma detallada, el proceso de descarga, tratamiento y anàlisis de la información. Las principales bases de datos utilizadas para la realización de esta investigación son el Instituto Geográfico Nacional - IGN (https://www.ign.es/web/ign/portal), de donde se han descargado los datos LIDAR y ortofotos (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea – PNOA) y la Sede Electrónica del Catastro (https://www.sedecatastro.gob.es/), de donde se ha obtenido la información relacionada con los polígonos de parcelas y edificios de las tramas seleccionadas (en formato shapefile)

Para el procesado y análisis de los datos se han utilizado los Sistemas de Información Geogràfica, concretamente el programa ArcGIS Pro, versión 2.4.

### 5.1.3.1. Descarga y tratamiento de datos LIDAR

Los datos obtenidos con la técnica LIDAR (Light Detection And Ranging) proceden de la teledetección óptica, que utiliza la luz de láser para la obtención de información tridimensional (nube de puntos) de la superficie de la tierra (con coordenadas x-y-z). Esta es una alternativa a las técnicas tradicionales de representación cartográfica y topográfica, basadas en la fotogrametría.

El sistema LIDAR está compuesto por un vehículo de recolección de datos (avión, satélite, dron, vehículo, etc.), un sistema de escáner láser, un Sistema de Posicionamiento Global (*GPS - Global Positioning System*) para determinar la posición en todo momento, y un Sistema de Navegación Inercial (*INS - inertial navigation system*), que es un sistema de ayuda a la navegación que facilita la vigilancia de la velocidad, orientación y posición. Todo ello permite el control del desplazamiento a través de rutas preestablecidas.

Los pulsos láser emitidos desde un sistema LIDAR se reflejan en los diferentes objetos que se encuentran en la superficie terrestre, como el suelo, edificios, vegetación, etc. De tal manera que el pulso retorna como una o varias devoluciones, en función de las superficies reflectoras presentes en el área. Las primeras devoluciones del pulso láser suelen corresponder con las cubiertas de edificios y/o vegetación y las últimas con la superficie del terreno. El reflejo laser es detectado y analizado por el sensor LIDAR, registrando el tiempo exacto desde que el pulso salió y cuándo regresó, permitiendo el cálculo de la distancia entre el sensor y el objeto, que al combinar con la información de los sistemas GPS e INS se transforma en información tridimensional.

La información procesada de los datos LIDAR se denomina “nube de puntos”, y contiene abundantes datos en forma de puntos, con coordenadas X, Y, Z, junto con otros atributos adicionales como la intensidad, número y cantidad de devoluciones, clasificación del punto, banda RGB, tiempo del GPS, ángulo y dirección de escaneo, etc.

En el dato correspondiente a la clasificación del punto, se puede obtener el tipo de objeto que reflejó el pulso láser, asignando varias categorías a las que se suele asociar un código numérico

(establecido por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección - ASPRS). En la tabla siguiente se pueden observar dichas categorías:

Tabla 12. Clasificación de los datos LIDAR

| Valor de clasificación | Descripción |
|---|---|
| 0 | Nunca clasificado |
| 1 | Sin clasificar |
| 2 | Suelo |
| 3 | Vegetación baja |
| 4 | Vegetación media |
| 5 | Vegetación alta |
| 6 | Edificios |
| 7 | Punto bajo (ruido) |
| 8 | Reservado[25] |
| 9 | Agua |
| 10 | Ferrocarril |
| 11 | Superficie de la carretera |
| 12 | Reservado[26] |
| 13 | Protector de cable (señal) |
| 14 | Conductor de cable (fase) |
| 15 | Torre de transmisión |

[25] El sistema de clasificación LAS 1.4 más actual tiene reservados estos códigos (código 8: Clave del modelo/Reservada y código 12: Superposición/Reservado), y los puntos con estas características deberían usar los marcadores de clase correspondientes en su lugar.

[26] Ibídem

| Valor de clasificación | Descripción |
|---|---|
| 16 | Conector de la estructura de cables (aislante) |
| 17 | Plataforma del puente |
| 18 | Ruido alto |
| 19-63 | Reservado |
| 64-255 | Definido por el usuario |

Fuente: ESRI, a partir de Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección – ASPRS

Por tanto, dada la capacidad que tienen estas técnicas para determinar las formas y alturas de cualquier elemento que se encuentre en la superficie terrestre, se ha considerado la más oportuna para determinar y caracterizar los tipos de cubiertas existentes en los diferentes tejidos urbanos seleccionados para este estudio.

De la tabla anterior los principales datos que se han utilizado son los correspondientes a los puntos clasificados como *2. Suelo* y *6. Edificios,* ya que constituyen la base de información fundamental para la construcción del Modelo Digital del Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Superficie de las Cubiertas (MDSC) de los edificios presentes en las tramas urbanas seleccionadas. Se han descartado las capas *3. Vegetación baja*, *4. Vegetación media* y *5. Vegetación Alta*, para evitar las interferencias que pudieran existir con las cubiertas de dichos edificios, así como situaciones excesivamente específicas y estacionales, que no se contemplan en este estudio.

El primer paso es la descarga de datos en el *Centro de Descargas* del *Centro Nacional de Información Geográfica*. La búsqueda se centra en el apartado de *Modelos Digitales de Elevaciones*, que "*ofrece información altimétrica que representa el relieve del territorio nacional, y en el caso de los datos LIDAR, también de los elementos que se encuentran sobre él.*" [27]

En *Modelos Digitales de Elevaciones* se escogen los datos ofrecidos en el apartado *LIDAR 2ª Cobertura (2015-Actualidad)*, que contiene "*Ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LIDAR, distribuidos en ficheros de 2x2 km de extensión. Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LIDAR con una densidad de 0,5 puntos/m$^2$ o mayores. Inicialmente se publican los ficheros sin clasificar y se actualizan una vez procesados. Todos los ficheros son coloreados con Infrarrojo y RGB a partir de ortofotos obtenidas al mismo tiempo que la toma de datos LIDAR.* "

[27] Centro de Descargas, Centro Nacional de Información Geográfica: http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp

A continuación se puede visualizar la nube de puntos decargada para la trama urbana correspondiente al tejido tipo Ensanche.

Figura 51. Nube de puntos obtenida mediante técnica LIDAR – Trama urbana Ensanche

Fuente: Centro de Descargas. Centro Nacional Información Geográfica. Rojo: edificación / verde: vegetación

Los archivos se descargan en formato LAZ (formato de compresión de ficheros LAS, que es el formato estándar obtenido con técnicas LIDAR). Por tanto, para poder manejarlos se tienen que descomprimir a archivos con formato LAS y para ello se ha utilizado el programa *LASzip free tools* (https://laszip.org/). Una vez obtenidos los archivos LAS, se utiliza la herramienta *Create LAS Dataset* en ArcGIS Pro para crear un único Dataset con todos los LAS que cubren las áreas de estudio, antes de proceder a la creación del Modelo Digital de Superficie (MDS)

### 5.1.3.2. Generación del Modelo Digital de Superficie de Cubierta

Con la generación del Modelo Didital de Superficie de Cubiertas (MDSC) se consigue un archivo digital que representa, de forma realista y con gran precisión (celdas de 0,5 x 0,5 metros), la volumetría que tienen las cubiertas de los edificios para cada trama urbana seleccionada, así como todos los elementos existentes sobre ellas (casetones de escalera, mansadas, chimeneas, cajas de escaler, etc.). Esta información es determinante para el análisis del resto de parámetros explicados en los puntos siguientes, como la orientación, pendiente e irradiación solar recibida (según periodos del año) en los planos de cubiertas.

A partir del archivo creado en el punto anterior (en formato LAS) se crea el Modelo Digital de Superficie (MDS) mediante la aplicación de la herramienta *LAS Dataset to Raster* , definiendo un tamaño de píxel de 0,5 metros para el archivo raster de salida. De esta forma se consigue mayor precisión en los resultados obtenidos (al ser menor el tamaño del píxel)

Para obtener el Modelo Digital de Superfície de Cubierta (MDSC), correspondiente únicamente a las cubiertas de los edificios de la trama urbana seleccionada, se utiliza un archivo que contiene el perímetro de dichas cubiertas[28], descargado de la base de datos de la Sede Virtual del Catastro (https://www.sedecatastro.gob.es/). Los huecos de patios interiores o patios de manzana son eliminados al extraerse el área de todas las construcciones (capa CONSTRU en los datos de catastro) cuya altura de edificación es cero. Por ello, algunos patios interiores de manzana contemplan cubiertas, normalmente correspondientes a construcciones de una planta como apartamientos, talleres, comercio, etc.

Con dicha "plantilla" del contorno de las cubiertas se realiza un recorte calculando una equidistancia de 1 m respecto a su perímetro exterior, para evitar errores de los datos LIDAR en los encuentros entre el borde de dichas cubiertas con el plano vertical de fachadas. Además, de esta forma se garantiza la exsitencia de un paso perimetral para posibles labores de mantenimiento, principalemnte en las cubiertas planas. En el caso de vivienda unifamiliar aislada y en hilera, dadas sus dimensiones y características volumétricas, no se ha aplicado esta equidistancia. También se realiza un recorte a partir del perímetro de patios de manzanas y patios de luces existentes en cada trama urbana.

Figura 52. Modelo Digital de Superficie de Cubiertas (MDSC) – Tejido urbano Ensanche

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

[28] Denominado CONSTRU

En la imagen anterior se puede observar el Modelo Digital de Superficie de Cubierta del tejido urbano Ensanche. Se visualiza la diferencia de altura de las cubiertas de los edificios, en combinación con la altitud del terreno, a partir de la gama de colores establecida (rojos con valores más altos, verdes más bajos y amarillos-naranjas con valores intermedios)

### 5.1.3.3. Cálculo de inclinación de cubiertas

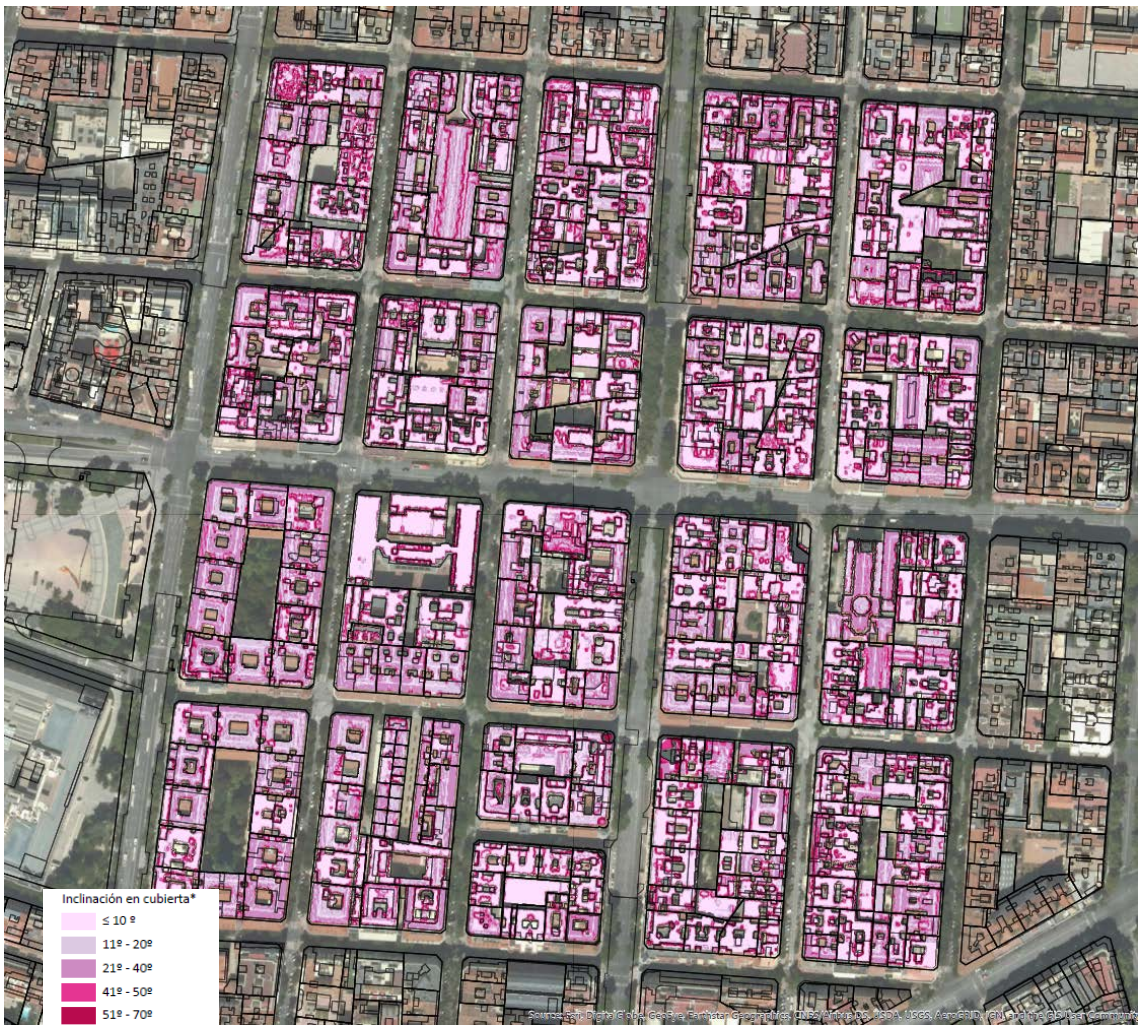
Para el calculo de la inclinación de las cubiertas de los edificios, previamente se descartan las parcelas que no están edificadas, para evitar resultados que puedan inducir a error.

En este caso se parte del archivo relativo al modelo Digital de Superficie de Cubiertas (MDSC), calculado en el punto anterior, y se aplica la herramienta *Slope*, mediante el programa ArcGis Pro. Los intervalos de pendiente que se establecen son los siguientes:

- ≤ 10º
- 11-20º
- 21-40º
- 41-50º
- 51-70º
- > 70º (se consideran paramentos verticales)

A continuación se pueden apreciar los resultados obtenidos para el tejido urbano de Ensanche, donde los colores más claros representan menor inclinación de cubierta y los más oscuros mayor inclinación.

Figura 53. Inclinación de cubiertas – Tejido urbano Ensanche




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Una vez calculados los diferentes rangos de inclinación, para la identificación de cubiertas planas e inclinadas se aplican los siguientes valores (a través de la herramienta *Reclassify*):

- Pendiente < 10º, se consideran cubiertas planas — Valor asignado = 1
- Pendiente ≥ 10º, se consideran cubiertas inclinadas — Valor asignado = 0

A partir de esta segunda clasificación se calcula el valor medio de pendientes para cada parcela (que oscilará entre 0 y 1), mediante la herramienta *Zonal Statistics* (Statistic type: mean, calcula el promedio para el campo especificado). Posteriormente, para asignar el valor medio a cada polígono de parcela se calcula su centroide a través de la herramienta *Feature to point*, y se añade el valor anterior a dicho punto a través de la orden *Extract value to point*. Una vez llevados los valores medios de pendientes por parcela se crea un nuevo campo en la tabla de atributos de dicha capa para designar qué parcelas tienen predominantemente cubiertas planas o inclinadas en sus edificios. Se ha considerado que los valores por debajo de 0,25[29] corresponden a cubiertas

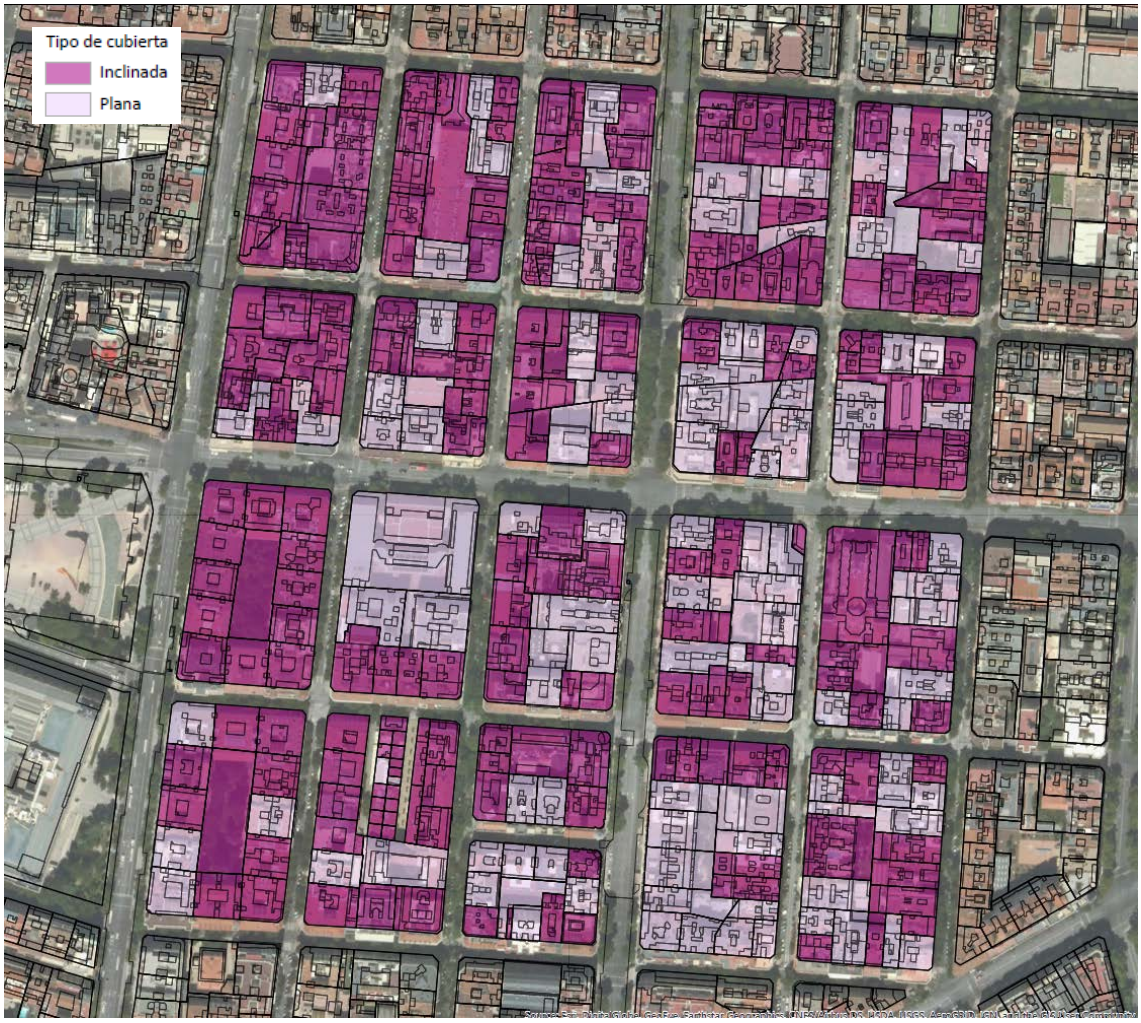
[29] Este valor ha sido calibrado en función del tejido urbano analizado. Además, se ha realizado una comprobación del indicador mediante inspección visual directa sobre la ortofotografía de cada ámbito, para garantizar la validez de los resultados.

inclinadas. Para indicar mediante texto el tipo de cubierta predominante en las parcelas se utiliza la siguiente expresión, mediante la opción *Select by attribute:*

| | |
|---|---|
| "Pendiente_mean" is less than 0,25 | Tipo de cubierta = inclinada |
| "Pendiente_mean" is greater than 0,25 | Tipo de cubierta = plana |

Como se puede observar en la imagen siguiente, el mapa resultante indica qué parcelas tienen predominio de edificios con cubiertas planas y cuáles tienen edificios con cubiertas inclinadas.

Figura 54. Cubiertas planas o inclinadas por parcela – Tejido urbano Ensanche



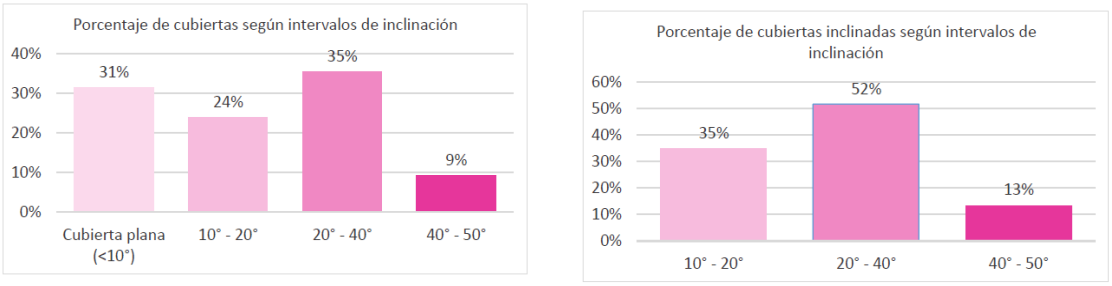

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Por útimo, para realizar el cómputo (en %) de los distintos valores de pendientes de cubiertas presentes en cada trama urbana se realiza otra reclasificación de los datos (herramienta *Reclassify*) de la siguiente manera:

- Inclinación 0º-10º: Valor = 10
- Inclinación 11º-20º: Valor = 20
- Inclinación 21º-40º: Valor = 40
- Inclinación 41º-50º: Valor = 50
- Inclinación 51º-70º: Valor = 70
- Inclinación 71º-90º: Valor = 90

Hay que mencionar que se han hallado valores de inclinación que oscilan entre el 70º y 90º en muchos tejidos urbanos. Estos casos se corresponden principalmente con errores asociados a la captura de datos LIDAR en los encuentros entre los planos horizontales o inclinados de cubiertas con planos verticales, como fachadas, petos, saltos de nivel y casetones existentes. Por este motivo estos valores se han descartado, para evitar errores en los cálculos. A partir de la tabla de atributos de la capa que contiene esta información se puede realizar un conteo (mediante la herramienta *Count*) de los pixeles según los valores anteriores, obteniendo así los porcentajes de cada tipo de cubierta, por grado de inclinación, para cada trama urbana analizada.
A continuación se pueden observar los porcentajes de tipos de cubiertas, según inclinación, para la trama urbana de Ensanche. A la izquierda respecto a todas las cubiertas presentes en el ámbito (planas e inclinadas) y a la derecha diferentes grados de pendiente de las cubiertas inclinadas exclusivamente.

Figura 55. Porcentaje de cubiertas según inclinación – Trama urbana Ensanche



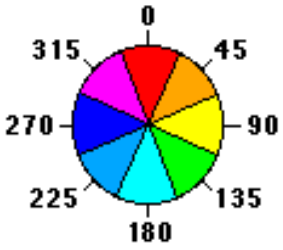

Fuente: Elaboración propia

## 5.1.3.4. Cálculo de orientaciones en cubierta

Como se ha visto en puntos anteriores, la orientación es otro factor determinante respecto al potencial de captación de la radiación solar en las cubiertas. Difiere bastante según la estructura de la trama urbana y el tipo de edificio, y por ello es importante su estudio según los diferentes ámbitos seleccionados.

En este punto se desarrolla la metodología utilizada para el cálculo de las orientaciones. Para ello, se parte nuevamente del Modelo Digital de Supercie de Cubierta (MDSC) y se aplica la herramienta *Aspect*, estableciendo los siguientes intervalos para el cálculo[30]:

- Inclinada a Norte: 315º - 45º
- Inclinada a Este: 45º - 135º
- Inclinada a Sur: 135º - 225º
- Inclinada a Oeste: 225º - 315º



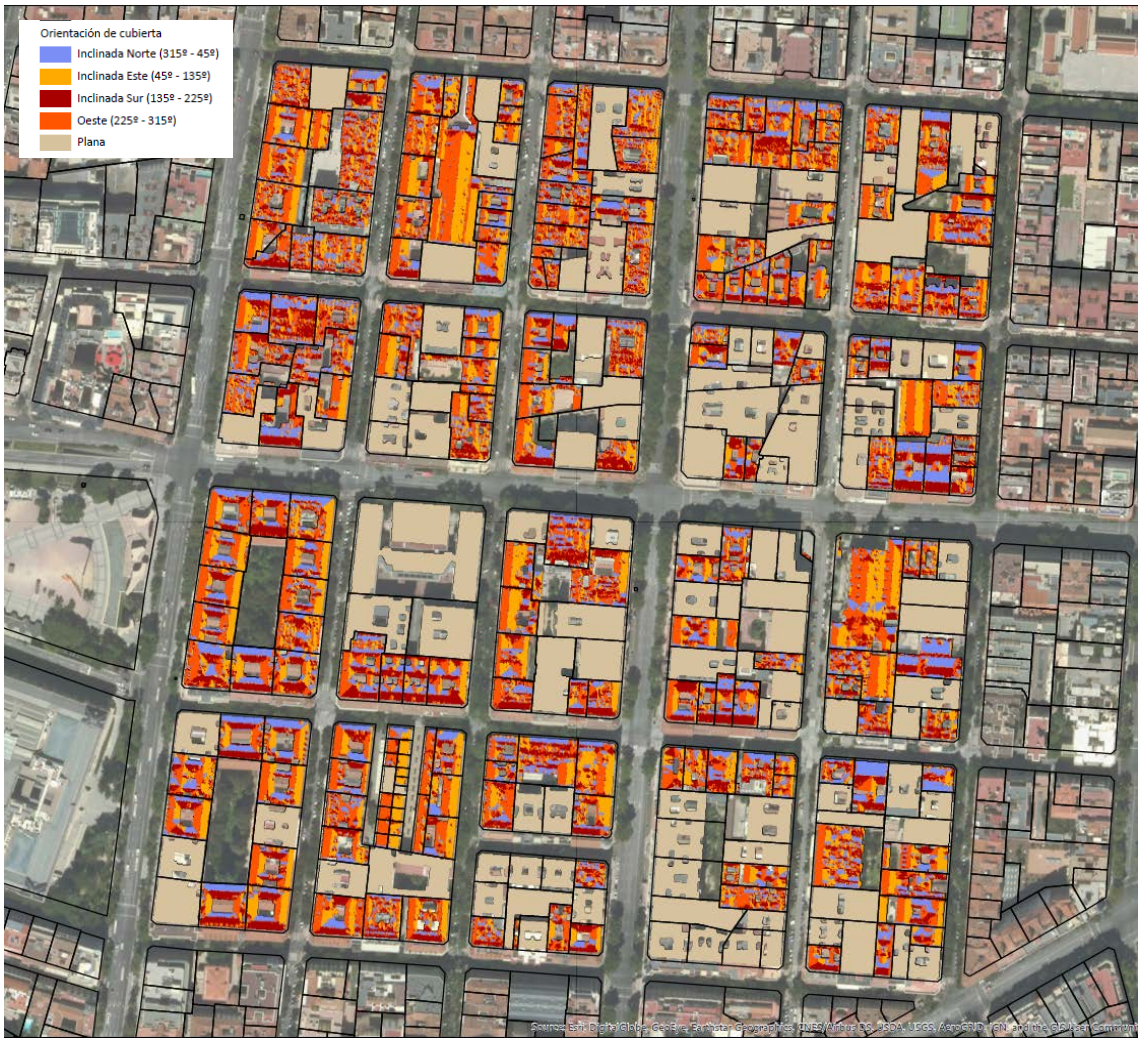

Fuente: ESRI

[30] De 0 a 360º medidos desde la orientación Norte en sentido horario

Según el propio programa de cálculo utilizado, *"El valor de cada celda de un dataset de orientación indica la dirección a la que apunta la pendiente de la celda*" [31]

Para el caso de las cubiertas planas, y de cara a simplificar los cálculos y evitar errores de interpretación de datos (puesto que aparecen en dichas cubiertas píxeles con pequeñas inclinaciones, similar al efecto "textura papel arrugado" de Photoshop) se incorporan las cubiertas planas halladas en el punto anterior, referente al cálculo de la inclinación. A continuación se puede observar el mapa de orientación de cubiertas del tejido urbano tipo Ensanche.

Figura 56. Orientación de cubiertas – Tejido urbano Ensanche




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Para poder estimar los porcentajes de cada tipo de cubierta, según su orientación, se utilizan las herramientas de reclasificación (*Reclassify*) para obtener un nuevo archivo raster con la siguiente información para cada pixel:

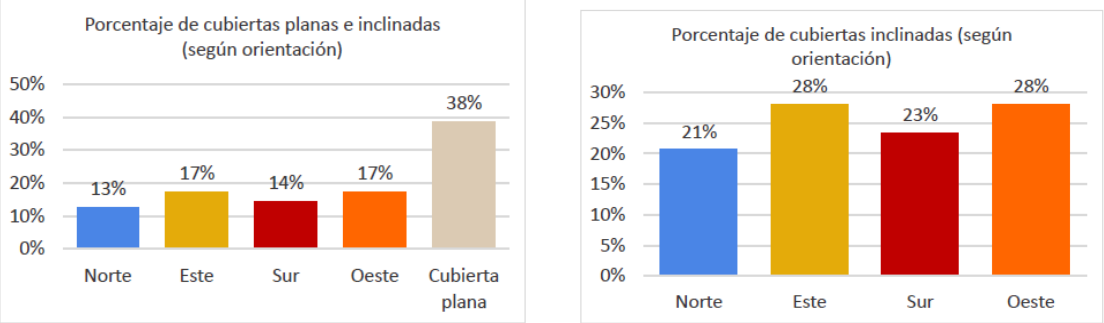
- Cubierta inclinada - Orientación Norte. Valor 1
- Cubierta inclinada - Orientación Este: Valor 2

[31] Fuente: http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aspect-works.htm

- Cubierta inclinada - Orientación Sur: Valor 3
- Cubierta inclinada - Orientación Oeste: Valor 4
- Cubierta Plana: Valor 5

A partir de los valores anteriores, reflejados en la tabla de atributos del archivo correspondiente, se puede realizar un conteo (herramienta *Count*) para cada orientación, obteniendo así los porcentajes de cada tipo en la trama urbana analizada. En los gráficos siguientes se pueden observar los porcentajes de tipos de cubiertas, según orientación, para la trama urbana de Ensanche. A la izquierda respecto a todas las cubiertas presentes en el ámbito (planas e inclinadas) y a la derecha el porcentaje de las diferentes orientaciones en las cubiertas inclinadas exclusivamente.

Figura 57. Porcentaje de cubiertas según tipo (plana o inclinada) y orientación – Tejido urbano Ensanche




Fuente: Elaboración propia

La diferencia de valores en el porcentaje de cubiertas planas para el cálculo de orientaciones respecto a los valores hallados en el cálculo de inclinaciones radica en que para las orientaciones se han unificado previamente los valores de los pixeles de las cubiertas de edificios donde predomina la cubierta plana, asignando un valor por defecto (5). En el caso del cálculo de inclinación a cada pixel le corresponde su valor real (ya se ha comentado que a pesar de ser cubiertas planas están conformadas por multitud de píxeles con cierta pendiente, similar al efecto "textura papel arrugado" de Photoshop)

### 5.1.3.5. Cálculo de irradiación solar por tejido y periodo del año

Por último, para el cáculo de la irradiación solar sobre las cubiertas se utiliza la herramienta *Area Solar Radiation* que, básicamente, calcula la radiación solar que incide en una superficie (Wh/m$^2$), en función de la latitud del lugar, la inclinación y orientación del plano de cubierta y la presencia de obstáculos. A lo anterior se añade, también, la variación según el día y hora del año considerados. La metodología utilizada se basa en la empleda por el propio programa informático:

*"Las herramientas de análisis de radiación solar calculan la insolación en un paisaje o en ubicaciones específicas, basada en métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados por Rich et al. (Rich 1990, Rich et al. 1994) y ampliados por Fu y Rich (2000, 2002).*

*La cantidad de radiación total calculada para una ubicación o un área en particular se proporciona como radiación global. El cálculo de la insolación directa, difusa y global se repite para la ubicación de cada entidad o para cada ubicación de la superficie topográfica, lo que genera mapas de insolación para un área geográfica completa.""*[32]

La radiación global ($Global_{tot}$) es calculada como la suma de la radiación directa ($Dir_{tot}$) y la radiación difusa ($Dif_{tot}$) de todos los sectores que contempla el mapa:

$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot}$$

Como archivo base del cálculo se utiliza, de nuevo, el Modelo Digital de Supercie de Cubierta (MDSC) para cada tipo de trama urbana, aplicando la herramienta *Area Solar Radiation* en tres periodos de tiempo diferenciados:

- Anual: 1 de enero al 31 de diciembre
- Periodo de calefacción: Del 1 de octubre al 31 de mayo
- Periodo de refrigeración: Del 1 de junio al 30 de septiembre

Los parámetros utilizados para el cálculo de la radiación solar en todos los casos son los siguientes:

- Day interval (intervalo diariario). *El intervalo de tiempo a lo largo de los años (unidades: días) utilizado para el cálculo de los sectores de cielo en el mapa de radiación*. Se deja el valor predeterminado: 14
- Hour interval (intervalo horario). *El intervalo de tiempo a lo largo del día (unidades: horas) utilizado para el cálculo de los sectores de cielo para mapa del radiación*. Se deja el valor predeterminado: 0,5
- Diffuse model type: se elige la opción Standard Overcast Sky (Modelo de difusión: Cielo nublado estándar). Hipótesis donde *el flujo de radiación difusa entrante varía con el ángulo cénit*.
- Transmittivity (transmisividad): Que representa *la fracción de la radiación que pasa a través de la atmósfera (promediada para todas las longitudes de onda). Los valores varían de 0 (sin transmisión) a 1 (transmisión completa)*. Se toma el valor: 0,61
- Difusse proportion (proporción difusa): *es la fracción del flujo de radiación normal global que es difusa. Los valores varían de 0 a 1. Este valor se establece de acuerdo con las condiciones atmosféricas.* Se ha tomado el valor 0,33

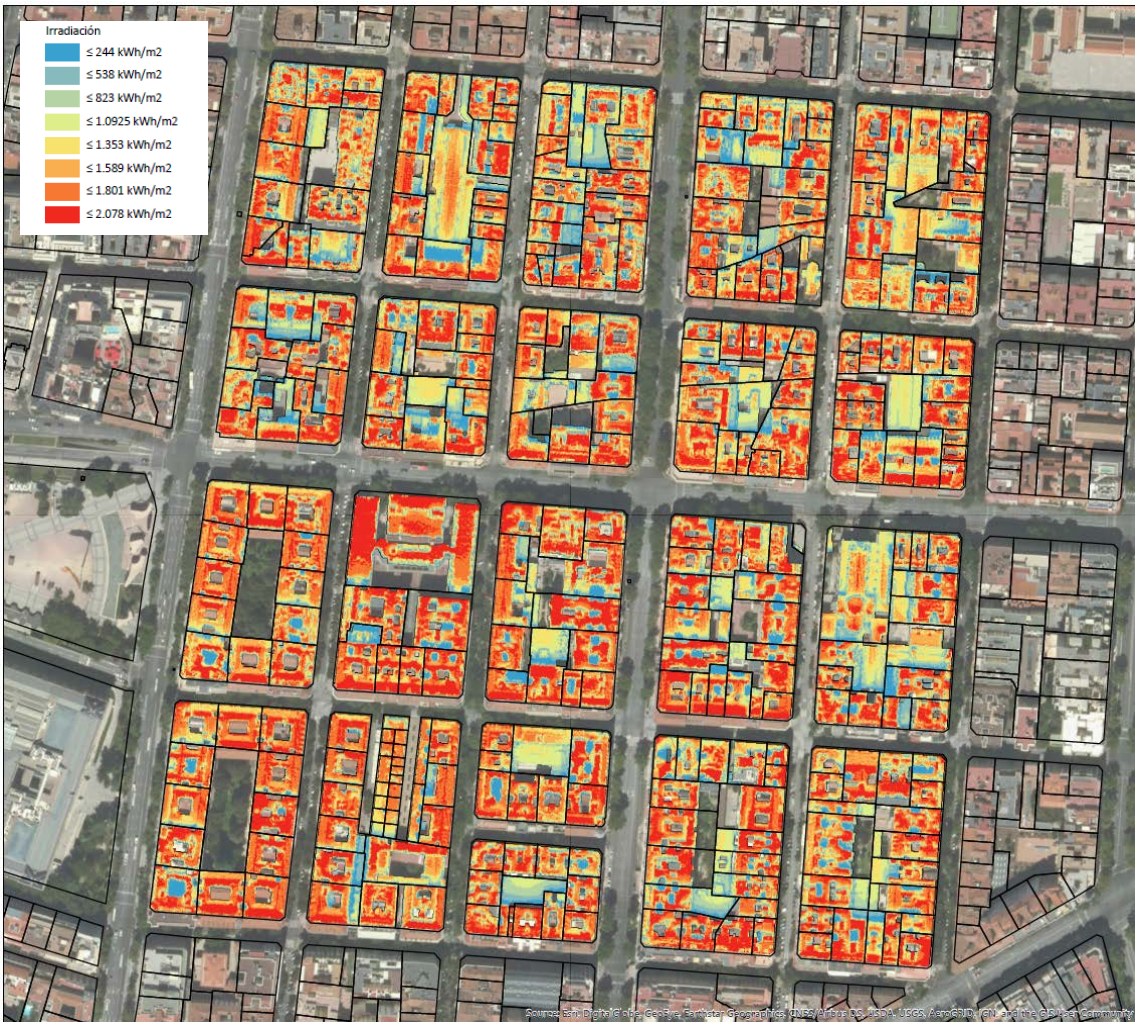
Los archivos raster de salida, diferenciados en los tres periodos del año predeterminados, proporcionan el valor de irradiación solar recibida en cada pixel de cubierta ($Wh/m^2$)

En la figura siguiente se puede observar la irradiación solar anual recibida en las cubiertas del tejido urbano tipo Ensanche. Se aprecia la influencia de la orientación e inclinación de las cubiertas

[32] Para más información sobre el cálculo y las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la radiación solar consultar en ESRI: http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-solar-radiation-is-calculated.htm

como factores determinantes en la captación de energía solar, diferenciándose claramente los faldones inclinados a sur con un color rojo más intenso, que indica mayor cantidad de energía recibida en el periodo analizado.

Figura 58. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano Ensanche



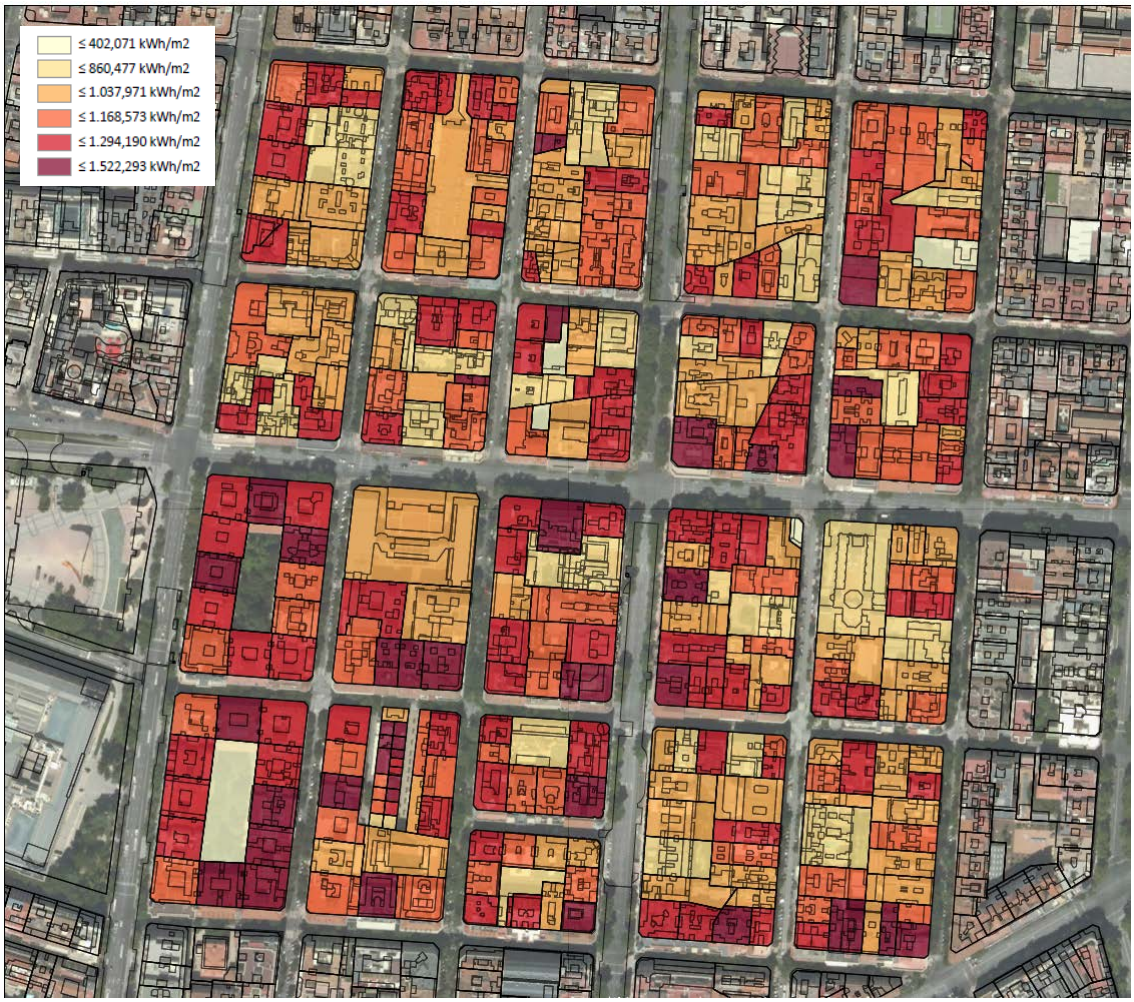

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Una vez obtenidos los datos anteriores se calcula el valor medio de irradiación solar (kWh/m$^2$) recibido por parcela. Para ello, se utiliza la herramienta *Zonal Statistics* (Statistic type: sum, agrega el valor total para el campo especificado), que determina la cantidad de radiación total por m$^2$ que incide sobre la parcela. Posteriormente se calcula el centroide de cada polígono de parcela y se lleva a este punto el valor obtenido anteriormente.

Para obtener el valor de radiación total que recibe la parcela para cada periodo se multiplica el valor hallado anteriormente por 0,25 (valor correspondiente a la superficie de cada pixel: 0,5m x 0,50m). Una vez hallado este valor (kWh), se puede obtener el valor medio recibido por parcela, dividiéndolo por la superficie de parcela (m$^2$)

A continuación se pueden observar los valores medios recibidos por parcela en el tejido urbano tipo Ensanche. Entre los valores calculados existe una gran diferencia, pues la influencia de la ocupación del edificio en la parcela, la presencia de patios interiores y la tipología de edificios son también factores determinantes.

Figura 59. Irradiación solar anual media en cubiertas por parcela – Tejido urbano Ensanche




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Posteriormente, se realiza una representación gráfica de los valores anteriores mediante histogramas de la irradiación anual y también para los periodos de meses cálidos y meses fríos, indicando el valor de la media, mediana y desviación estándar de los valores de irradiación por $m^2$ de cubierta.

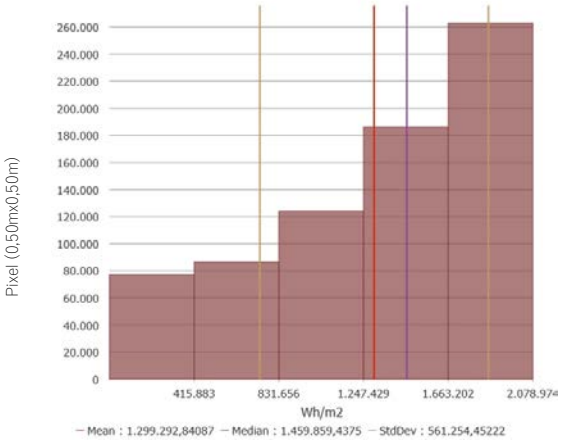
- Media: promedio de los valores de cada zona, es decir, la suma de todos los valores dividida entre el número de valores.
- Mediana: valor medio del conjunto de datos.
- Desviación estandar: medida de dispersión, es decir, indica cómo están de dispersos los valores respecto a la media.

Para calcular los histogramas se realizan las siguientes hipótesis:

- Para todas las cubiertas (inclinadas y planas) existentes en el tejido seleccionado
- Para todas las parcelas existentes en el tejido seleccionado

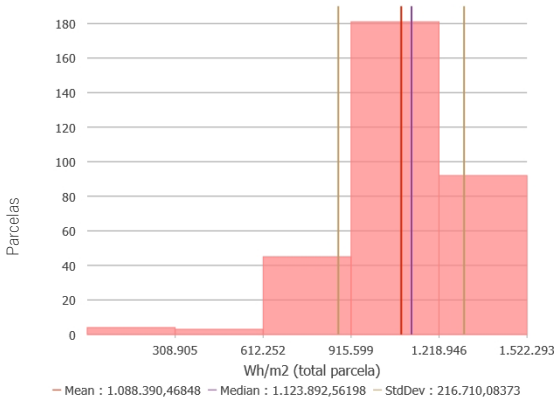
Para ello se utiliza la herramienta *Create Chart / Histogram*, donde en la opción *Statistics* se seleccionan los siguientes parámetros: Mean (media) / Median (mediana) / Std. Deviation (desviación estándar). A continuación se pueden observar los resultados de irradiación media anual sobre las cubiertas y parcelas del tejido urbano tipo Ensanche.

Figura 60. . Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta. Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela. Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

# 5.2. Resultados por tejidos urbanos

En esta sección se ofrecen los principales resultados obtenidos en los análisis descritos anteriormente, por trama urbana seleccionada. Para más información consultar los anexos que acompañan a este documento (Anexo II: Mapas de caracterización y capacidad de captación de energía solar por tejidos urbanos)

## 5.2.1. Vivienda unifamiliar aislada (VUa)

En el análisis del tejido urbano tipo vivienda unifamiliar aislada, ubicado en el barrio de La Piovera (distrito de Hortaleza), se observa un gran predominio de cubiertas inclinadas (84%) frente a las cubiertas planas (16%). Dentro de las cubiertas inclinadas la mayor proporción (49%) se encuentra entre los 20º-40º de inclinación, seguido de otro gran porcentaje de cubiertas (41%) que se encuentran entre los 10º-20º. Por último, existe un pequeño grupo de cubiertas (11%) cuya pendiente oscila entre 40º-50º (más información en Anexo II, planos VU02 y VU03).

Figura 62. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada

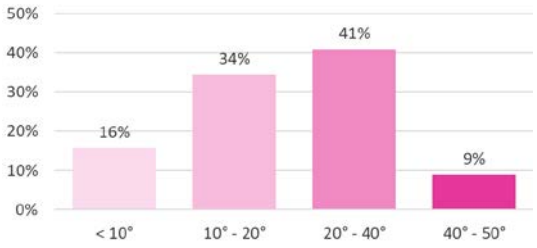
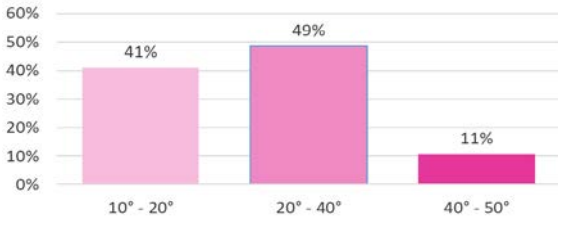



Figura 63. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de cubiertas inclinadas con orientación este-oeste es de 45,2% y el cubiertas inclinadas orientadas norte-sur es del 54,79 % (más información en Anexo II plano VU04)

Figura 64. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada

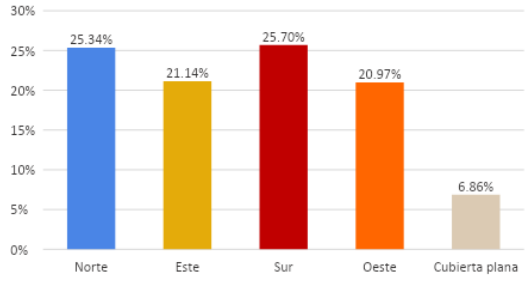
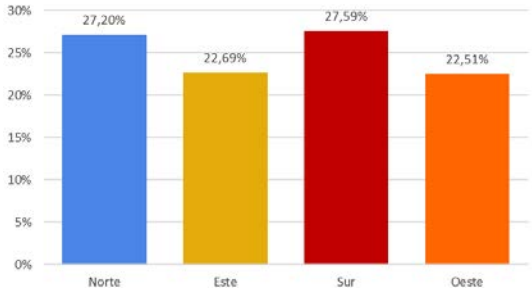


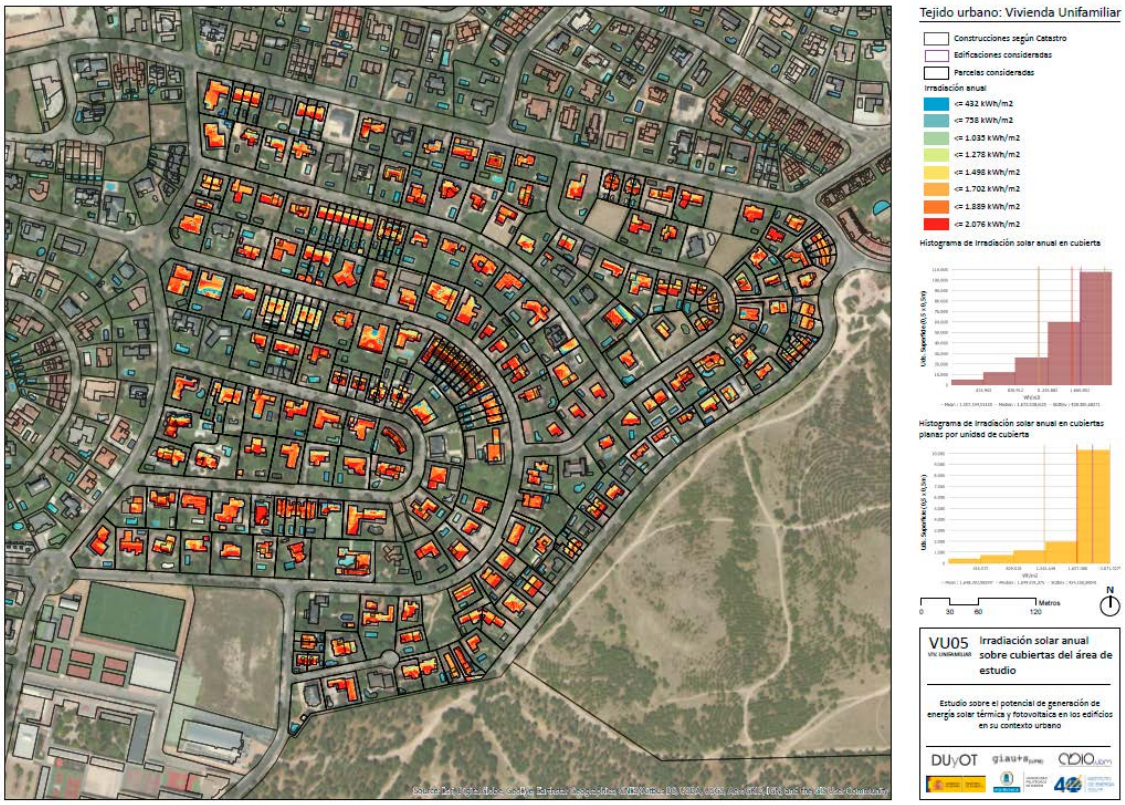

Figura 65. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano. Vivienda unifamilia aislada




Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la captación de radiación solar en cubiertas se comprueba, tanto en el caso anual, cómo en los periodos de meses fríos y cálidos (más información en Anexo II, planos VU05, VU07 y VU09), cómo los faldones inclinados orientados a sur, sureste y suroeste son los que reciben mayor irradiación por $m^2$ de cubierta (con valores anuales que pueden alcanzar hasta los 2.075 $kWh/m^2$). La diferencia de valores entre las zonás más óptimas para la captación y las menos, ubicadas en su mayoría en orientación norte (con una irradiación anual de < 432 $kWh/m^2$), puede llegar hasta cuatro veces más en los casos favorables.

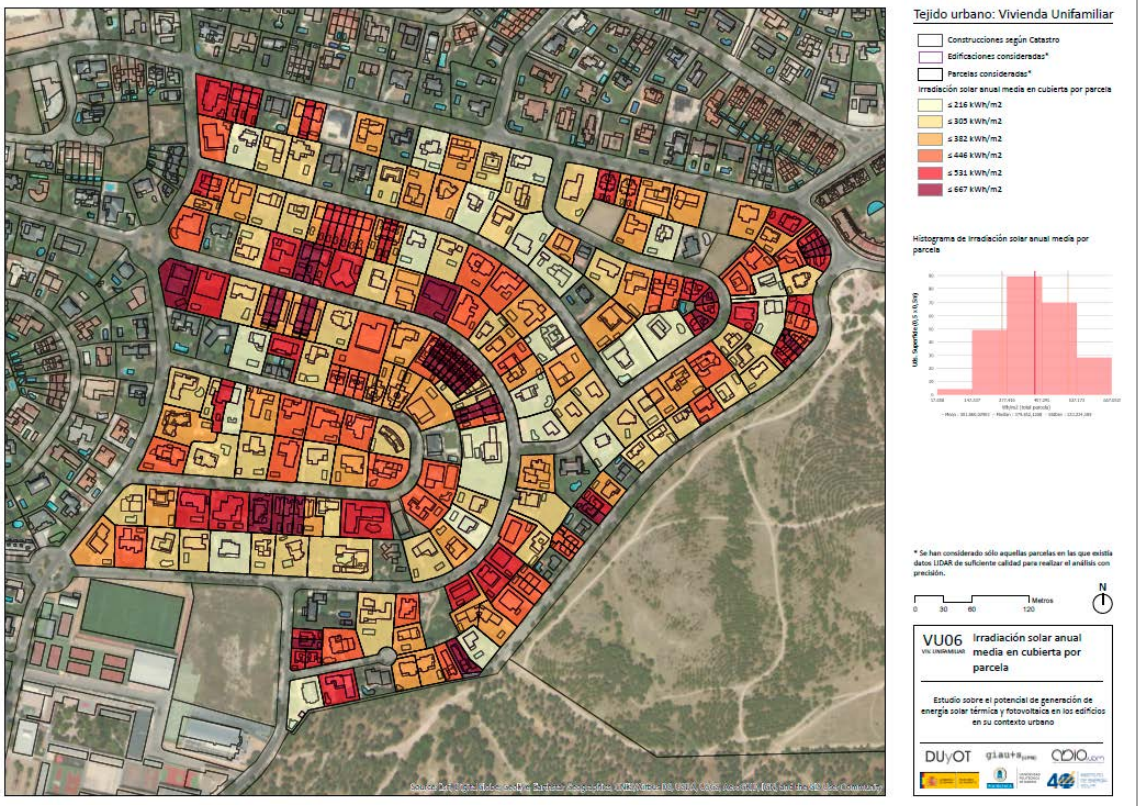
Figura 66. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Respecto a la irradiación solar en cubierta por parcela, se puede apreciar la influencia de los factores relativos a la ocupación de la edificación, la proporción entre la supercicie de la parcela y la disponible en cubierta para la captación solar, la presencia de patios interiores, etc. En general, los valores más altos (667 kWh/m$^2$) se corresponden con aquellas situaciones en las que la superficie de cubiertas tiene un porcentaje mayor respecto a la superficie total de la parcela (más información en Anexo II, planos VU06, VU08 y VU10)

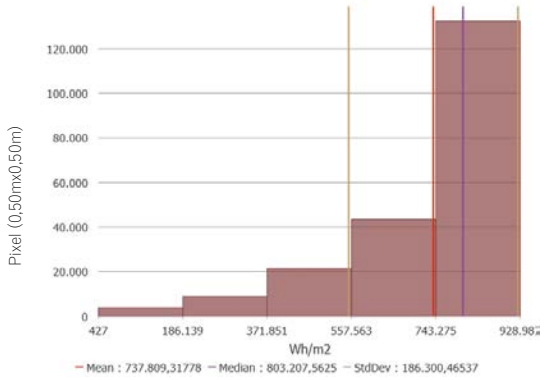
Figura 67. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

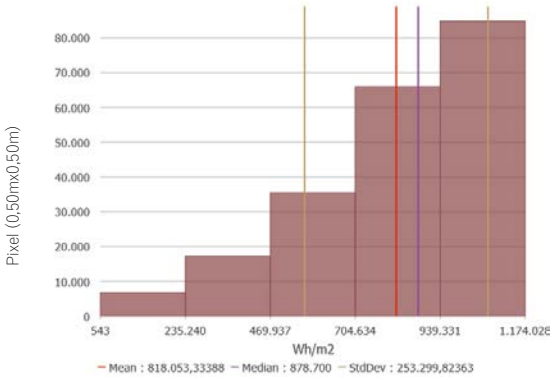
En el cálculo de los histogramas, se puede observar cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) arroja unos valores medios de 818 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos valores similares, de 737 kW h/m$^2$. Esto es debido a la variación de horas y a la posición del sol a lo largo del año, ya que en los meses cálidos el número de horas de sol es mayor que en los fríos, al igual que la altura solar y el azimut, lo que justifica que en tan sólo 4 meses se pueda captar prácticamente la misma cantidad de energía que en el resto del año.

Figura 68. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

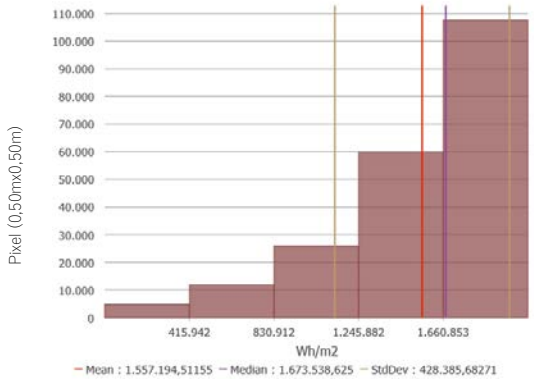
Figura 69. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios anuales, suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y en el de meses cálidos, están en torno a los 1.557 kW h/$m^2$

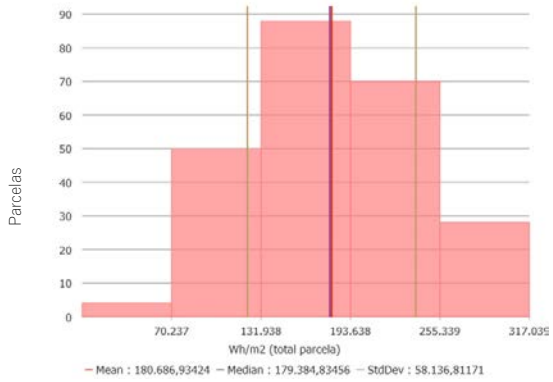
Figura 70. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

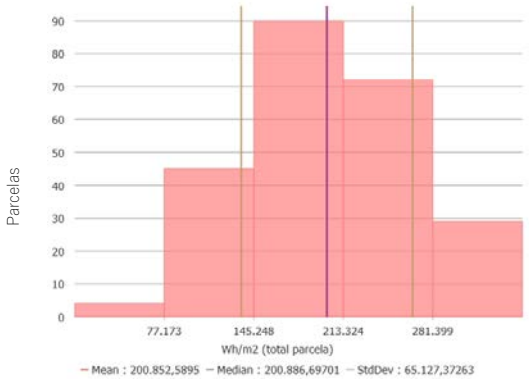
En los valores por $m^2$ de parcela se puede observar que la media para los distintos periodos disminuye considerablemente respecto a los cálculos de radiación captada sobre las propias cubiertas: en los meses cálidos se alcanza un valor de 180 kWh/$m^2$ y en los meses más fríos 200 kWh/$m^2$. Este decenso es debido, principalmente, a la proporción de superficie ocupada por la cubierta respecto al total de la parcela (las parcelas tienen grandes dimensiones respecto a la ocupación y, por tanto, a la superficie de cubiertas de los edificios)

Figura 71. . Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Viv. unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

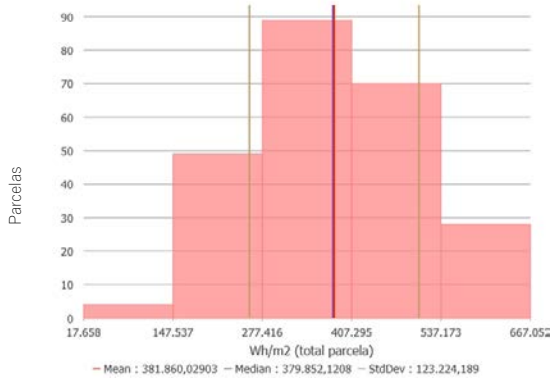
Figura 72. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Viv. unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios de irradiación anual por $m^2$ de parcela (381 kWh/$m^2$) dan también resultados inferiores a los obtenidos en el cálculo correspondiente a la superficie de cubiertas, por el motivo especificado anteriormente.

Figura 73. . Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela Tejido urbano: Viv. unifamiliar aislada




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.2. Vivienda unifamiliar en hilera (VUh)

En el tejido urbano correspondiente a la vivienda unifamiliar en hilera, ubicada en el barrio de Salvador (distrito San Blas- Canillejas) se comprueba que el porcentaje de cubiertas inclinadas es mayoritario. De hecho, los escasos valores que se detectan con inclinaciones < 10° se corresponden, en su mayoría, a valores asignados a las líneas de cumbrera de las cubiertas inclinadas.

El mayor porcentaje de cubiertas inclinadas (57%) oscila en un rago entre 20º-40º, seguido de cubiertas con menor inclinación (27%), entre 10º-20º. Existe un pequeño grupo (16%) de cubiertas con inclinaciones superiores a 40º (más información en Anexo II planos VUh02 y VUh03)..

Figura 74. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera

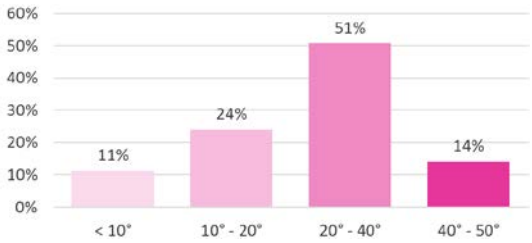
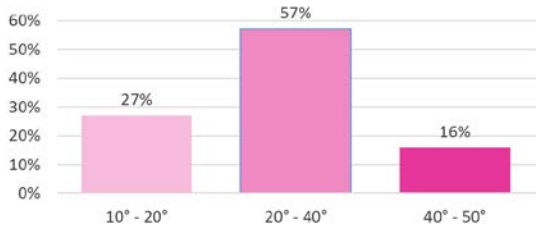



Figura 75. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

Respecto a las orientaciones de cubiertas existe un predominio de las que están orientadas norte-sur (67,58 %) respecto a las orientadas este-oeste (32,42%). Esto es debido principalmente a la configuración de la estructura urbana y a la tipología de edificios existentes en el caso de estudio (más información en Anexo II plano VU04).

Figura 76. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera

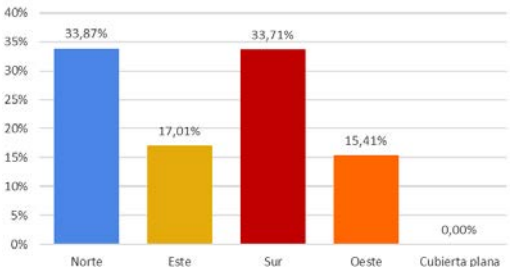
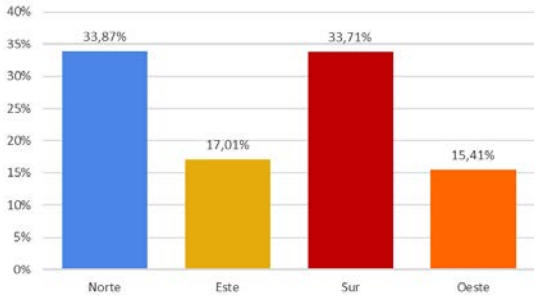


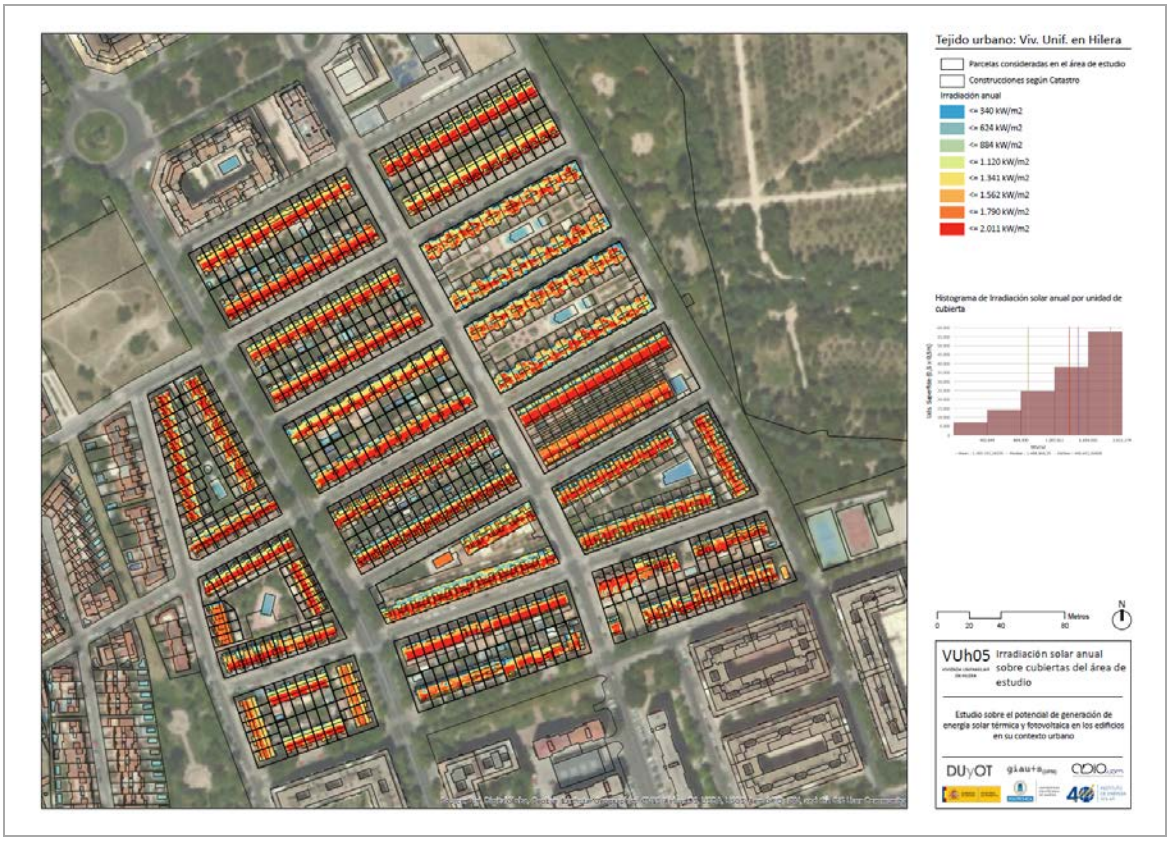

Figura 77. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano. Vivienda unifamilia en hilera




Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la captación de radiación solar en cubiertas se comprueba, como en el caso anterior, cómo los faldones inclinados orientados a sur, sureste y suroeste son los que reciben mayor irradiación por $m^2$ de cubierta (con valores anuales de irradiación que pueden alcanzar hasta los 2.011 $kWh/m^2$). Esta circunstancia se cumple en todos los periodos analizados. La diferencia de valores es notable al comparar las zonás óptimas para la captación y las menos óptimas, que coinciden casi siempre con los faldones orientados a norte, con valores de irradiación anual de < 340 $kWh/m^2$ (más información en Anexo II planos VUh05, VUh07 y VUh09).

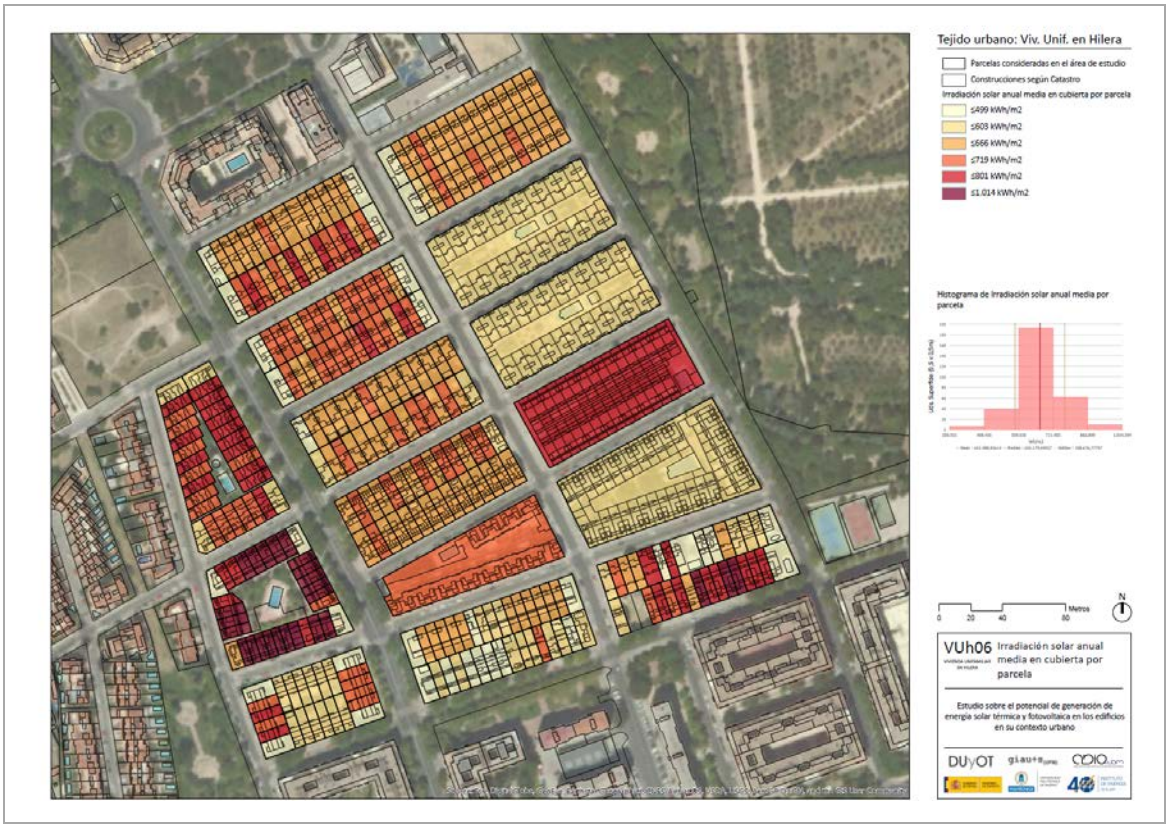
Figura 78. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: vivienda unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

En el caso de la irradiación solar media en cubierta por parcela, se puede comprobar que el factor de ocupación, así como la presencia de volúmenes cubiertos contruidos a posteriori pueden alterar ligeramente las posibilidades de captación. En general, las parcelas con más superficie de cubiertas por $m^2$ de parcela tiene un mayor potencial de captación de radiación solar, variando los valores entre 499 kWh/$m^2$ hasta 1.014 kWh/$m^2$ (más información en Anexo II planos VUh06, VUh08 y VUh10).

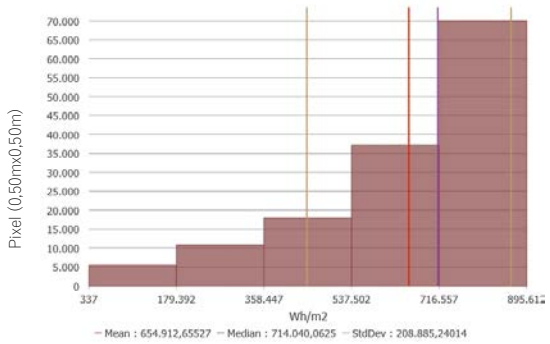
Figura 79. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

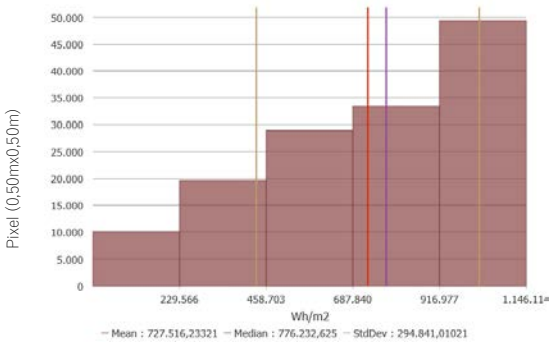
En el cálculo de los histogramas, se observa, igual que en el caso anterior, cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) alcanza valores de 727 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos valores similares, de 654 kW h/m$^2$. Esto es debido a la variación de horas y posición del sol a lo largo del año.

Figura 80. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

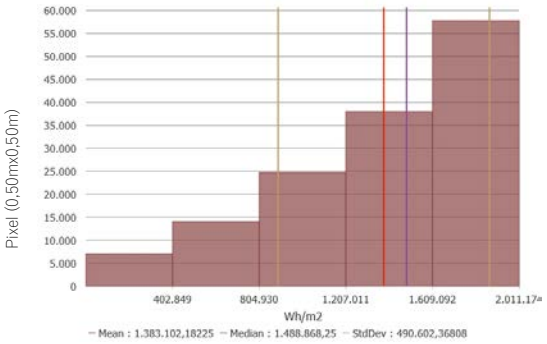
Figura 81. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios anuales, suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y en el de meses cálidos, están en torno a los 1.383 kW h/m$^2$ . Si se compara con el caso anterior, correspondiente a vivienda unifamiliar, se observa que es un valor menor ya que, por la propia configuración de esta tipología edificatoria, las posibilidades de captación de radiación solar suelen ser menores (al tener los faldones inclinados únicamente a dos orientaciones)

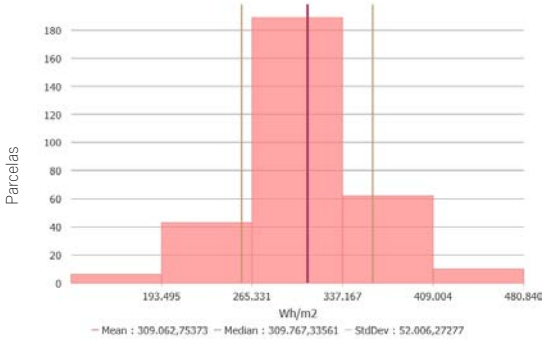
Figura 82. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Vivienda unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

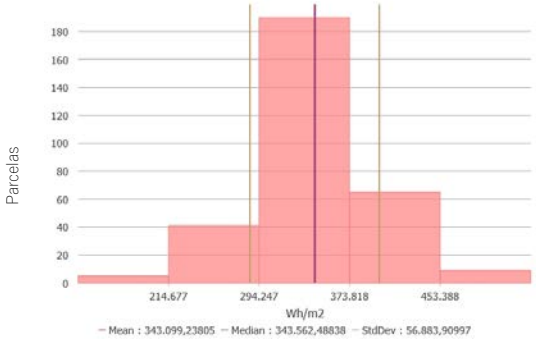
Por último, respecto a los valores asociados a los m$^2$ de parcela se puede observar que la media para los distintos periodos disminuye considerablemente respecto a los cálculos de radiación captada sobre las propias cubiertas. En los meses cálidos se alcanza un valor medio de 309 kWh/m$^2$ y en los meses más fríos de 343 kWh/m$^2$. Este decenso es debido, principalmente, a la proporción de superficie ocupada respecto al total de la parcela, aunque se comprueba que los valores son mayores que en el caso de vivienda unifamiliar aislada, puesto que las parcelas son mucho menores en proporción a la superficie ocupada por los edificios.

Figura 83. . Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Viv. unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

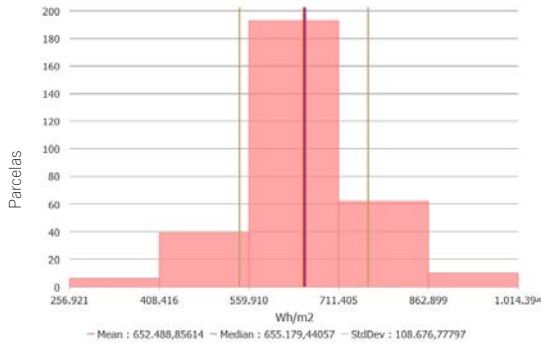
Figura 84. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Viv. unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

Lo mismo ocurre con los valores medios de irradiación anual por m$^2$ de parcela, donde el resultado es de 652 kWh/m$^2$, muy inferior al obtenido en el cálculo correspondiente a las cubiertas, por el motivo especificado anteriormente (aunque el resultado es mayor que en las viviendas unifamiliares)

Figura 85. . Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela. Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar en hilera




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.3. Casco histórico (CH)

En el tejido urbano correspondiente al Casco Histórico, ubicado en el barrio de Embajadores (distrito de Centro), se observa un gran predominio de cubiertas inclinadas (84%) frente a las cubiertas planas (16%). Dentro de las cubiertas inclinadas el 53 % se encuentra en intervalos de pendiente que oscilan entre 20º-40º, seguidas del 36 % que están entre el 10º-20º. El porcentaje minoritario (11%) corresponde a inclinaciones superiores, entre 40º-50º (más información en Anexo II planos CH02 y CH03)

Figura 86. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Casco Histórico

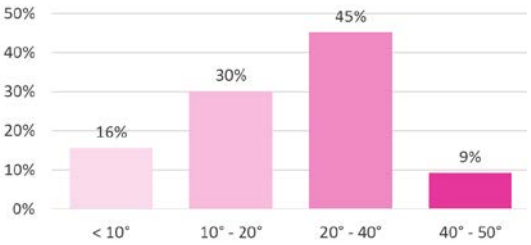
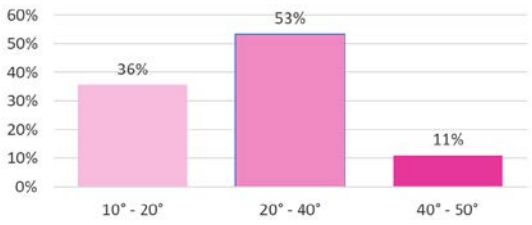



Figura 87. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Casco Histórico




Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las orientaciones de las cubiertas existe una distribución bastante homogénea de las que están orientadas norte-sur (47%) respecto a las este-oeste (53%), con un ligero predominio de las orientadas a sur, que representan el 27% del total (más información en Anexo II plano CH04).

Figura 88. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Casco Histórico

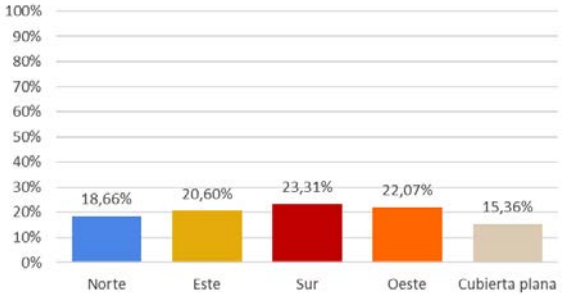
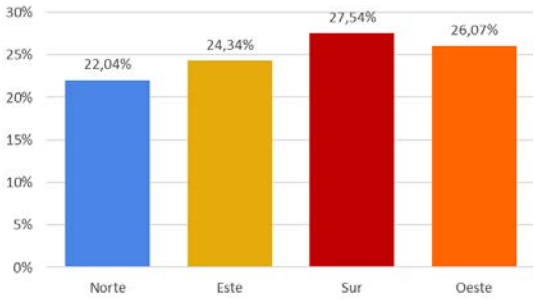


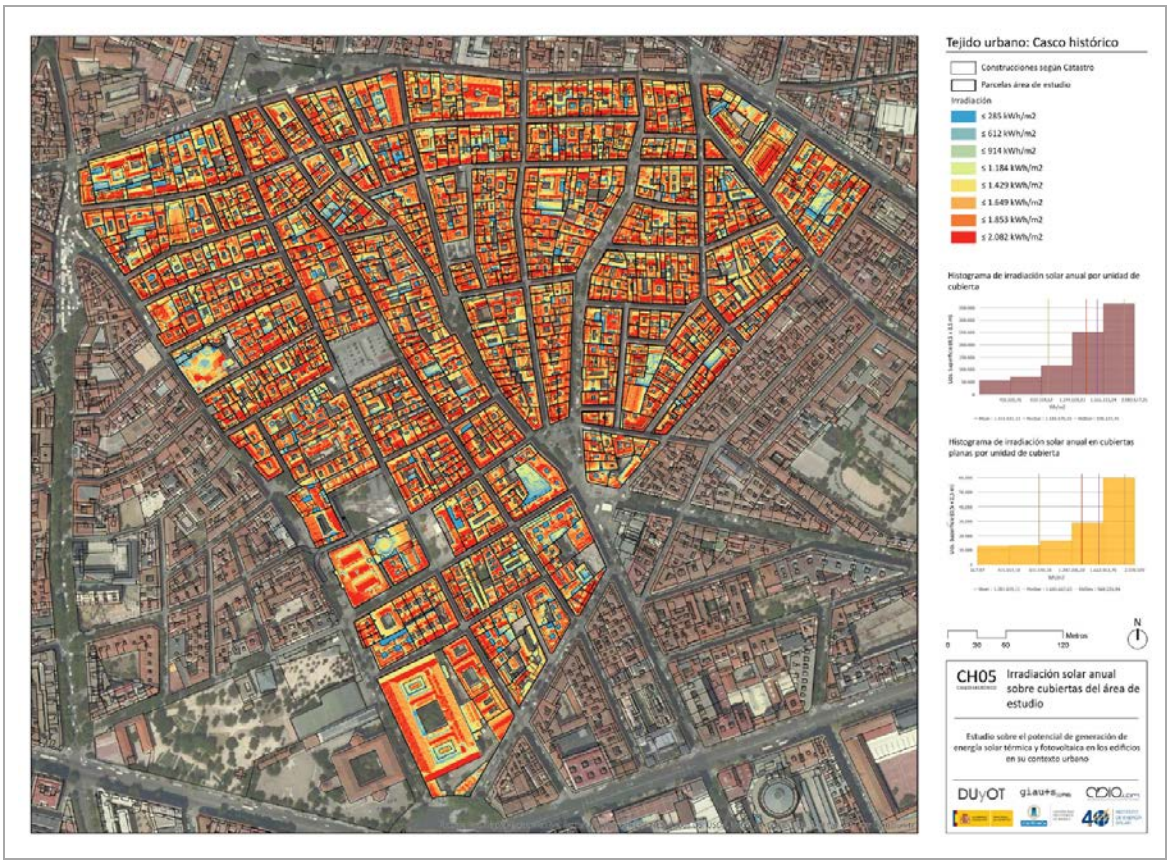

Figura 89. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Casco Histórico




Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados del cálculo de la irradiación solar en los diferentes periodos se puede observar cómo la máxima captación se da en los faldones inclinados a sur, sureste y suroeste, con valores anuales que pueden alcazar los 2.082 kWh/m$^2$. Los menores valores se dan en orientaciones norte y en cubiertas de patios interiores, donde apenas se alcanza el 10 % respecto al máximo antes mencionado (285 kWh/m$^2$). Esto es debido a la orientación y a las obstrucciones solares producidas por los propios edificios y los elementos sobresalientes (más información en Anexo II planos CH05, CH07 y CH09)

Figura 90. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Casco histórico

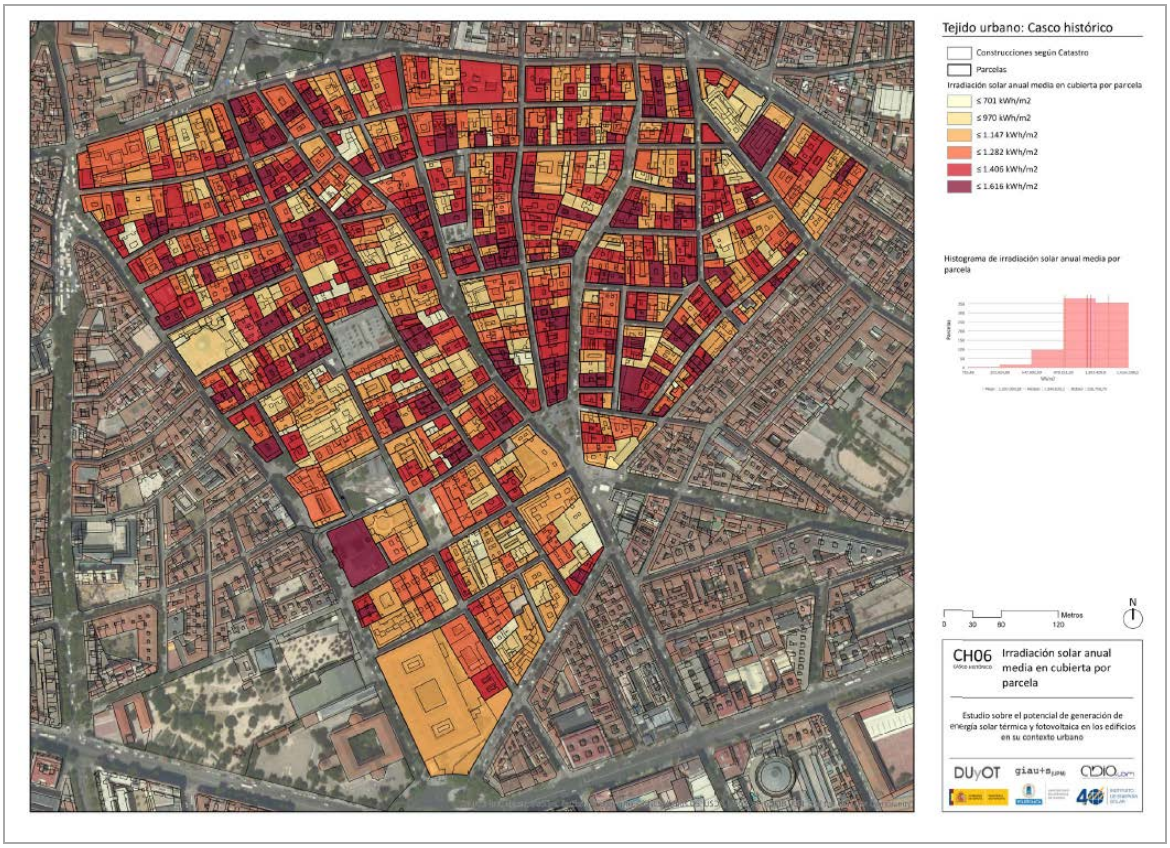



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Respecto a los valores de irradiación solar por m$^2$ de parcela (más información en Anexo II planos CH06, CH08 y CH10) se observa que los menores valores (701 kWh/m2) se alcanzan en aquellas parcelas donde el porcentaje de ocupación de la edificación es menor. Sin embargo, en los casos

contrarios, donde la parcela está practicamente colmatada (a excepción de los patios de luces), los valores pueden incluso duplicarse respecto a los ya mencionados (1.616 kWh/m$^2$)

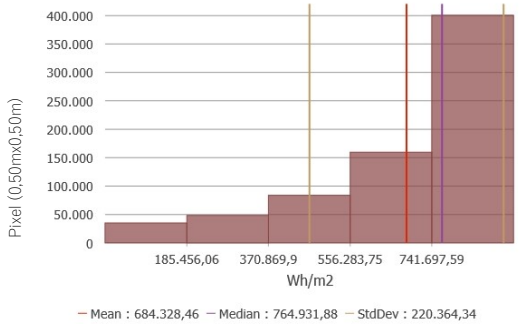
Figura 91. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

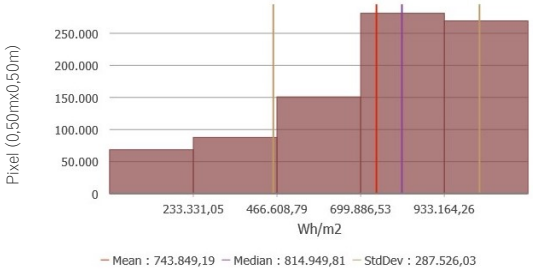
En cuanto al cálculo de los histogramas, se observa, igual que en casos anteriores, cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) arroja unos datos de 743 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos valores similares, de 684 kW h/m$^2$. Esto es debido a la variación de horas y posición del sol a lo largo del año, que favorece al periodo cálido.

Figura 92. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia

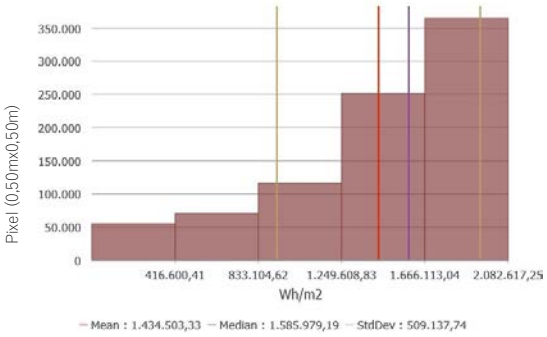
Figura 93. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios anuales, suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y en el de meses cálidos, están en torno a los 1.434 kW h/m$^2$ .

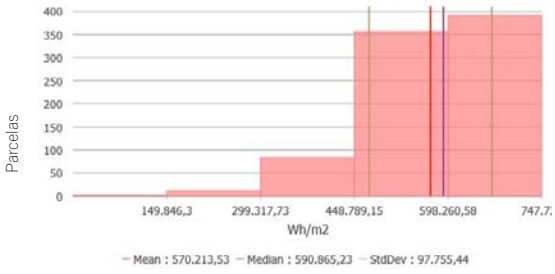
Figura 94. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia

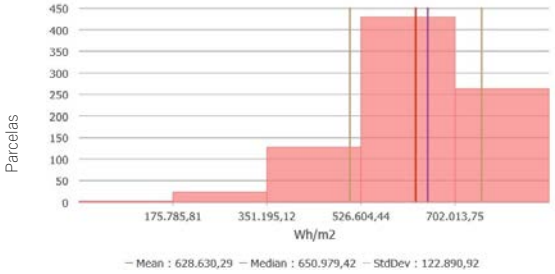
Por último, respecto a los valores asociados a los m$^2$ de parcela se puede observar que la media para los distintos periodos disminuye ligeramente respecto a los cálculos de radiación captada sobre las propias cubiertas, pero en menor medida que en otros casos estudiados, debido a la alta ocupación de las parcelas de este tejido. En los meses cálidos se alcanza un valor medio de 570 kWh/m$^2$ y en los meses más fríos de 628 kWh/m$^2$.

Figura 95. . Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia

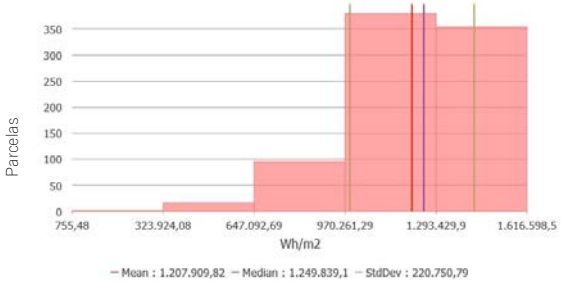
Figura 96. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia

Lo mismo ocurre con los valores medios de irradiación anual por m$^2$ de parcela, donde se alcanzan los 1.207 kWh/m$^2$, un valor menor que el calculado para las cubiertas, pero mucho más próximo que en otros casos estudiados, donde la ocupación de la parcela es menor.

Figura 97. . Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela. Tejido urbano: Casco histórico




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.4. Parcelación periférica (PP)

En cuanto al tejido urbano de Parcelación Periférica, ubicado en Bellas Vistas (distrito de Tetuán) también existe un claro predominio de cubiertas inclinadas (77%) frente a las cubiertas planas (23%). Dentro de las inclinadas prácticamente la mitad (52%) se encuentra entre los 20º-40º de pendiente, seguidas de las cubiertas incluidas entre los 10º-20º. El porcentaje minoritario pertenece a las cubiertas con mayor inclinación, entre 40º-50º (más información en Anexo II, planos PP02 y PP03)

Figura 98. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Parcelación Periférica

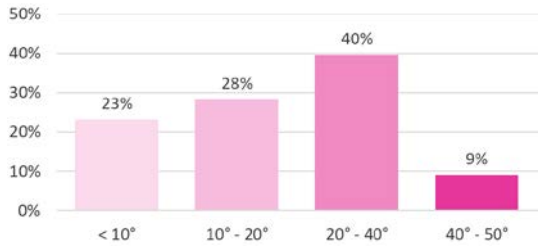
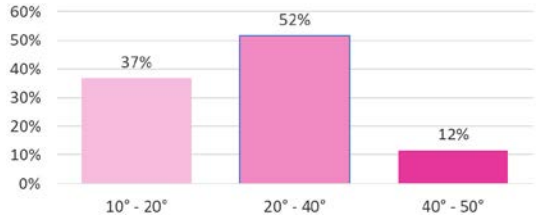



Figura 99. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

Respecto a las orientaciones de las cubiertas existe una distribución homogénea de las que están orientadas norte-sur (50%) respecto a las este-oeste (50%), con un ligero predominio de las orientadas a sur, representando casi un 27% (más información en Anexo II, plano PP04)

Figura 100. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Parcelación Periférica

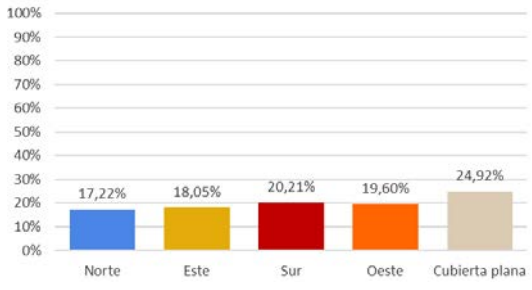
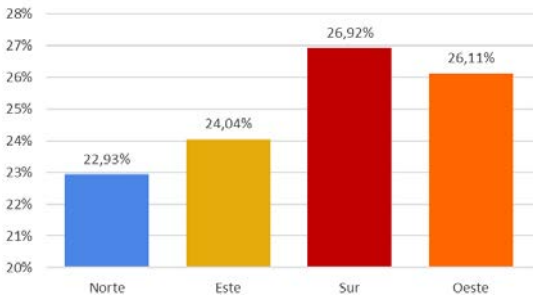


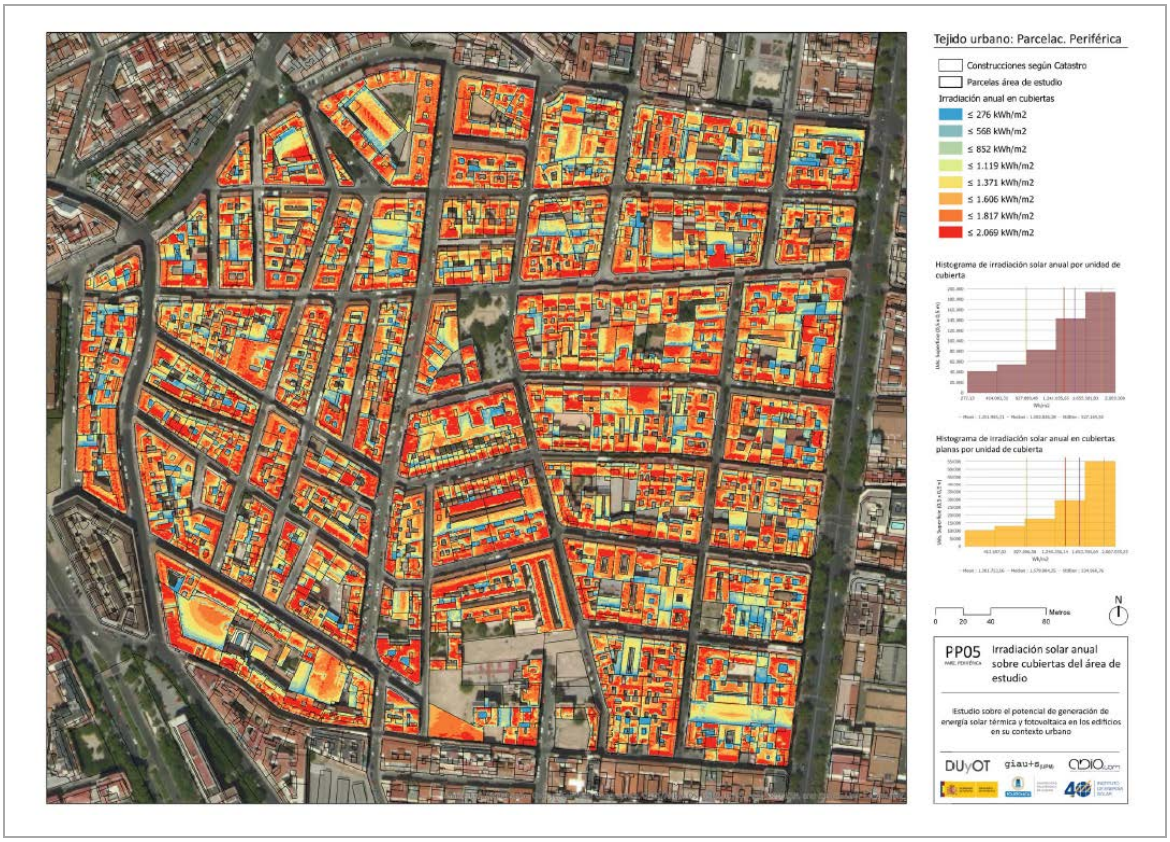

Figura 101. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

En el cálculo de la irradiación solar en los diferentes periodos se comprueba cómo la máxima captación se da en los faldones inclinados a sur, sureste y suroeste, como en el resto de casos analizados, con valores anuales que pueden alcazar los 2.069 kWh/m$^2$. Los menores valores se dan en orientaciones norte y en cubiertas de patios interiores, donde apenas se alcanza el 10 % respecto al máximo antes mencionado (276 kWh/m$^2$). Esto es debido a la orientación y a las obstrucciones solares producidas por los propios edificios y los elementos sobresalientes (más información en Anexo II, planos PP05, PP07 y PP09)

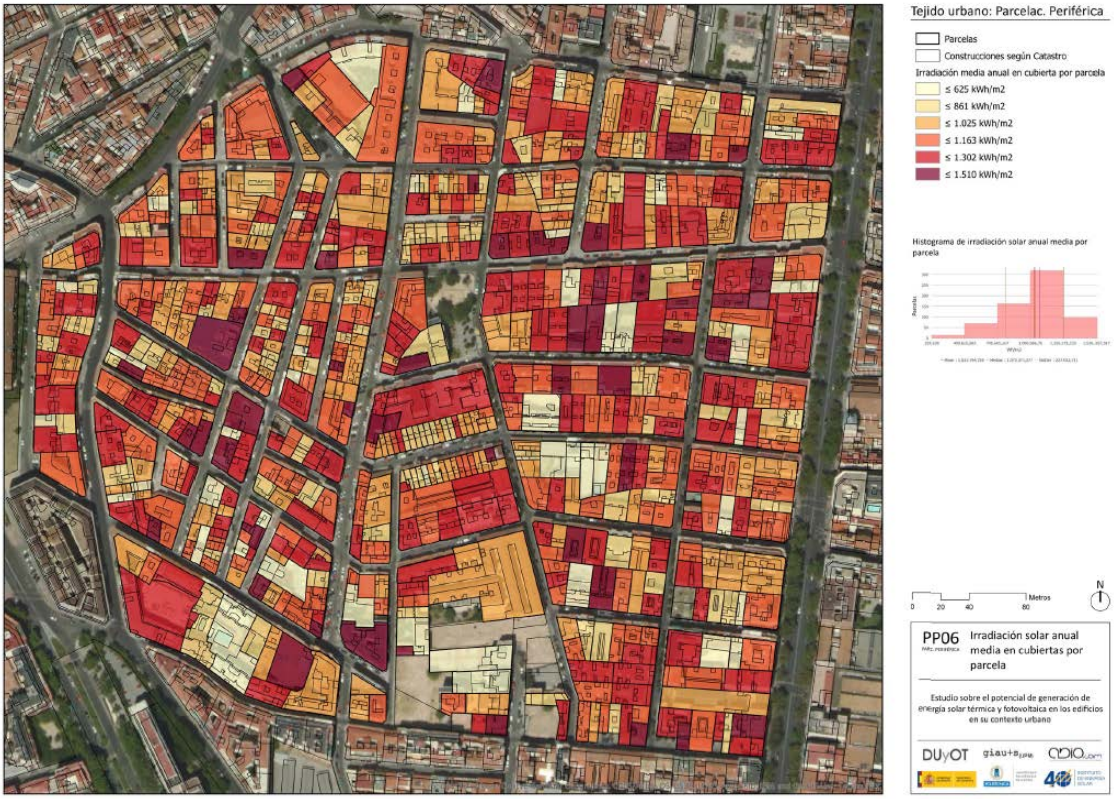
Figura 102. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Parcelacion Periférica




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Respecto a los valores de irradiación solar por $m^2$ de parcela (más información en Anexo 2, planos PP06, PP08 y PP10) se observa que los menores valores (625 kWh/$m^2$) se alcanzan en aquellas parcelas donde el porcentaje de ocupación de la edificación es menor. Sin embargo, en los casos contrarios, donde la parcela está practicamente colmatada (a excepción de los patios de luces), los valores pueden incluso duplicarse respecto a los ya mencionados (1.510 kWh/$m^2$)

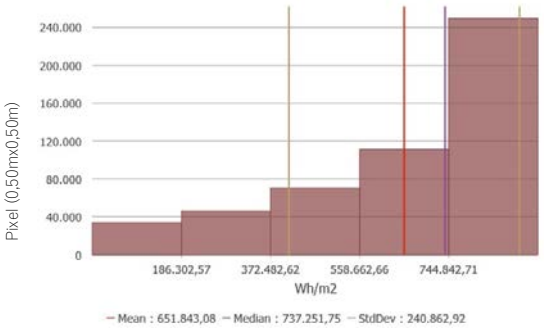
Figura 103. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

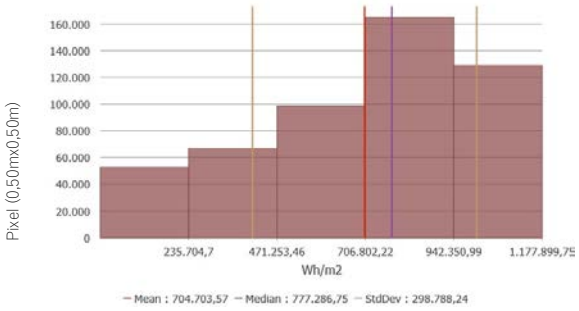
En el cálculo de los histogramas, se observa, igual que en casos anteriores, cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) arroja unos datos de 651 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos valores similares, de 704 kW h/m$^2$.

Figura 104. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

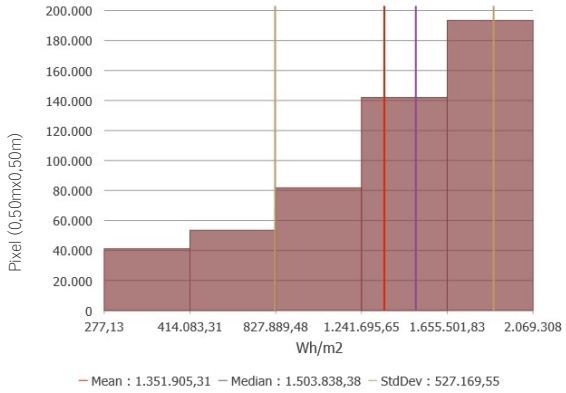
Figura 105. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubiertas. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios anuales, suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y en el de meses cálidos, están en torno a los 1.351 kW h/m$^2$.

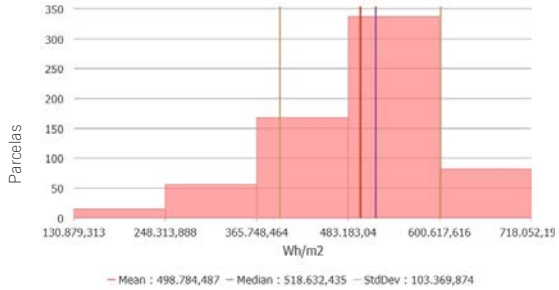
Figura 106. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubiertas. Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

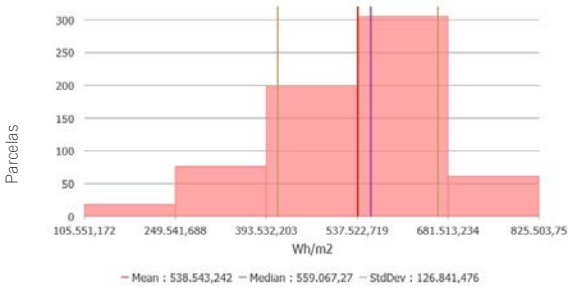
En cuanto a los valores asociados a los m$^2$ de parcela se puede observar que la media para los distintos periodos disminuye ligeramente respecto a los cálculos de radiación captada sobre las propias cubiertas, pero en menor medida que en otros casos estudiados, debido a la alta ocupación de las parcelas de este tejido (similar al tejido de casco histórico). En los meses cálidos se alcanza un valor medio de 498 kWh/m$^2$ y en los meses más fríos de 538 kWh/m$^2$.

Figura 107. . Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

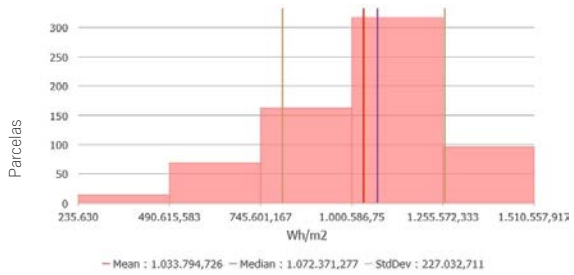
Figura 108. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

Lo mismo ocurre con los valores medios de irradiación anual por m$^2$ de parcela, donde se alcanzan los 1.033 kWh/m$^2$, un valor menor que el calculado para las cubiertas, pero mucho más próximo que en otros casos estudiados, donde la ocupación de la parcela es menor.

Figura 109. . Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela. Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.5. Ensanche (EN)

En el caso del tejido urbano correspondiente al Ensanche, ubicado en el distrito de Salamanca, la presencia de cubiertas planas es bastante inferior, prácticamente un tercio del todal, al de cubiertas inclinadas. Dentro de esta segunda categoría, más del 50 % tienen inclinaciones que oscilan entre 20º y 40º frente a un 35 % con inclinaciones menores, que rondan valores entre 10º y 20º. Por último, existe un porcentaje minoritario con inclinación > 40º. Hay que aclarar que, al igual que en otras tramas urbanas, se han hallado valores que oscilan entre el 70º y 90º, que han sido descartados por corresponder a los casos descritos en el apartado sobre el cálculo de las inclinaciones (más información en Anexo II, planos EN02 y EN03)

Figura 110. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Ensanche

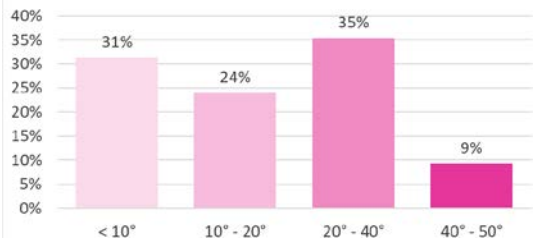
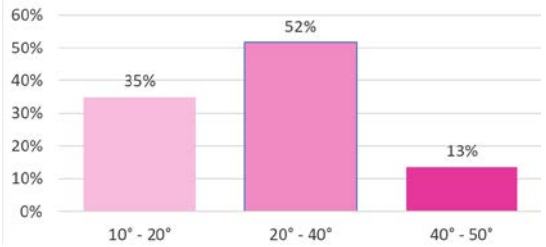



Figura 111. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

Respecto a las orientaciones, existe más del 35 % de cubiertas planas y el resto se reparte de forma bastante proporcional según las orientaciones, con un ligero predominio de los faldones de cubierta con orientaciones este y oeste.

El porcentaje de cubiertas orientadas norte-sur es aproximadamente de un 49 % y el de orientadas este-oeste es de un 51%. Los faldones orientados a sur se corresponden con un porcentaje ligeramente inferior (23%) a los este y oeste (28%), mientras que la orientación minoritaria es la norte (20%) (más información en Anexo II, plano EN04)

Figura 112. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Ensanche

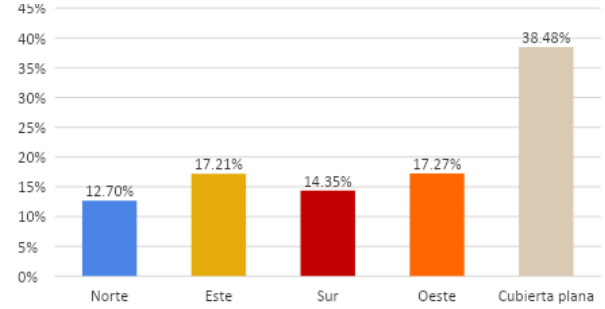
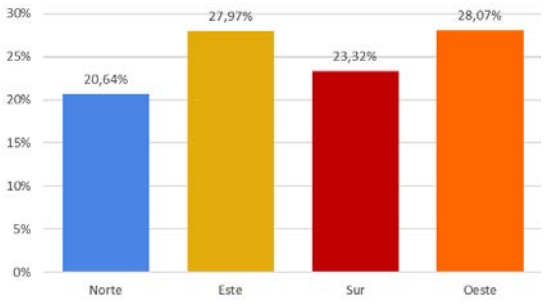



Figura 113. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Ensanche

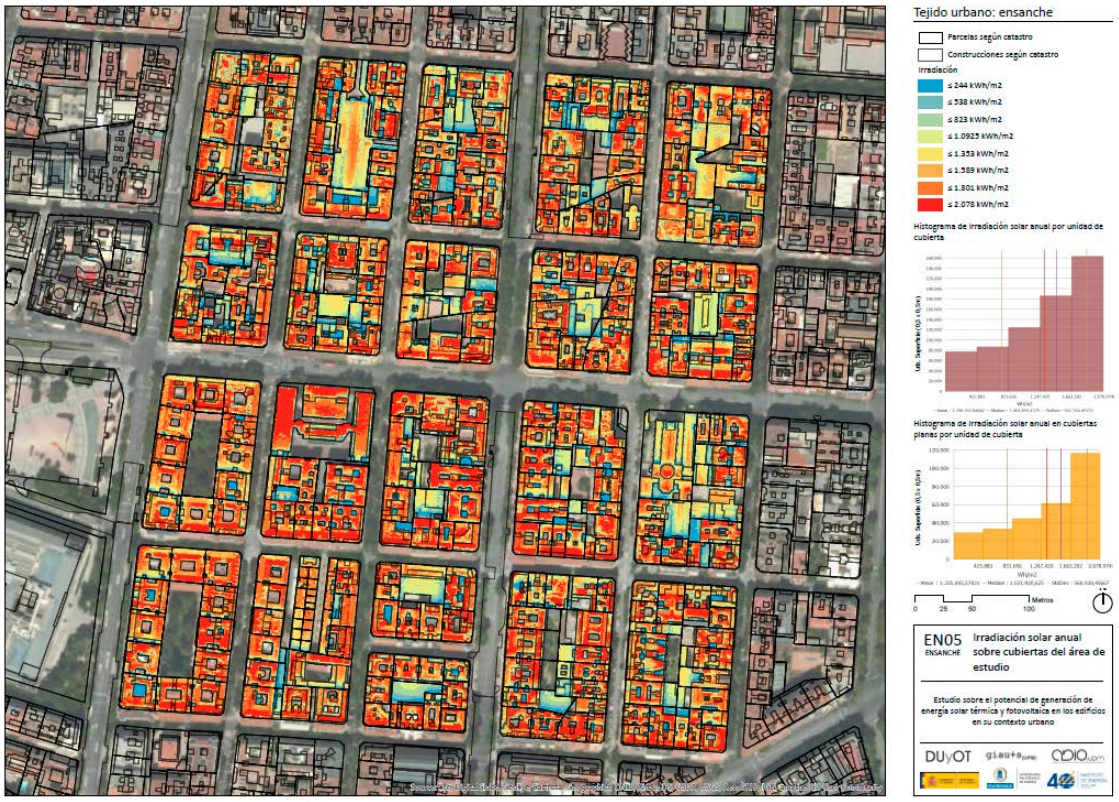



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la captación de radiación solar en cubiertas se observa claramente, tanto en el caso anual como en los periodos fríos y cálidos, cómo los faldones inclinados con orientación sur son los que reciben mayor irradiación por $m^2$ de cubierta (valores anuales ≤ 2.078 $kWh/m^2$ ), seguidos por

las cubiertas planas y los faldones orientados a este y oeste (más información en Anexo II, planos EN05, EN07 y EN09). Sin embargo, las cubiertas que se encuentran en los patios de manzana suelen ser las que menor radiación captan, dada las obstrucciones solares que reciben de los edificios colindantes, llegando a recibir en algunos casos tan sólo un 10% respecto a los valores asociados a las cubiertas con mejores condiciones de orientación e inclinación (valores anuales ≤ 244 kWh/m$^2$)

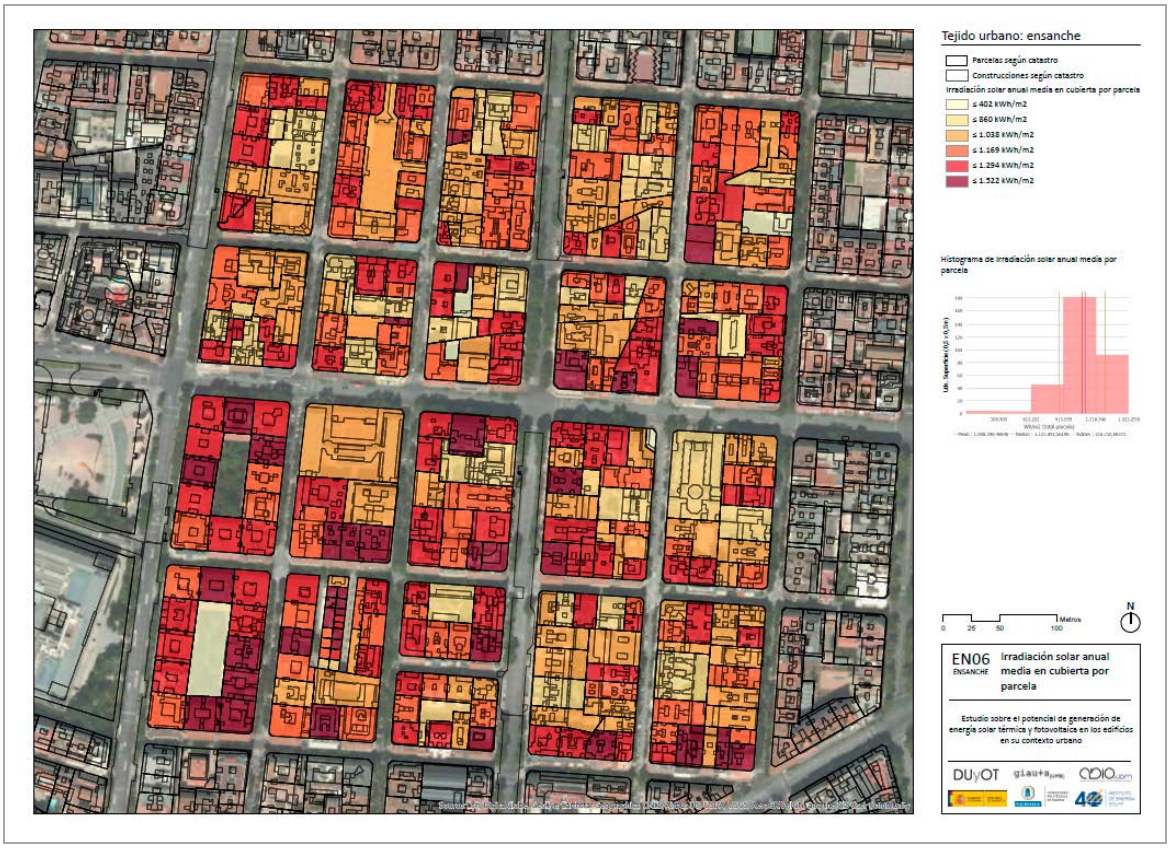
Figura 114. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Para los datos de irradiación anual media en cubiertas de edificios por parcela (más información en Anexo II, planos EN06, EN08 y EN10) se observa la influencia de la ocupación y la distribución de edificios dentro de la misma, así como el porcentaje de patios existentes. Al igual que en el mapa anterior se aprecian diferencias entre las parcelas que menos captan (402 kWh/m$^2$) de hasta un tercio respecto a los valores de las parcelas con mejores condiciones (1.522 kWh/m$^2$)

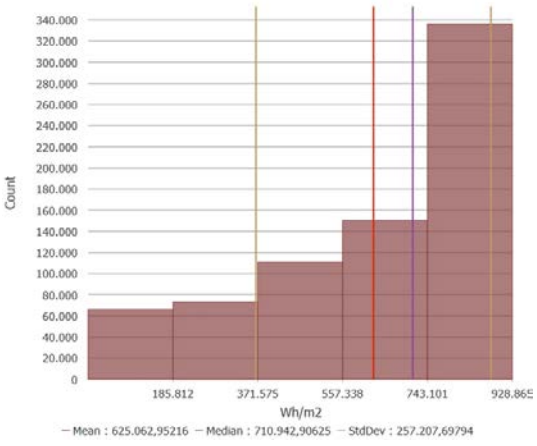
Figura 115. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

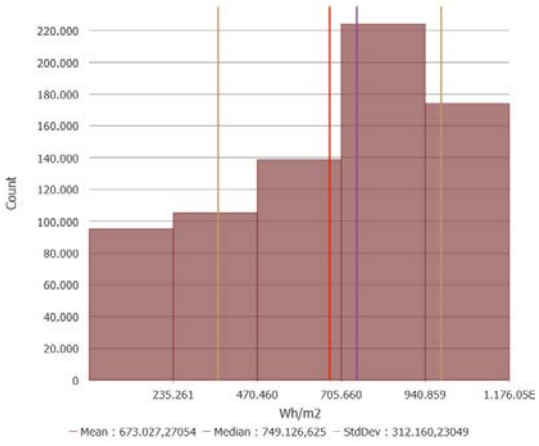
Respecto al cálculo de los histogramas, se puede observar cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) arroja unos datos de 673 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses más cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos valores similares, de 625 kW h/m$^2$. Esto es debido a la variación de horas de sol y posición solar a lo largo del año, explicado en los casos anteriores.

Figura 116. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

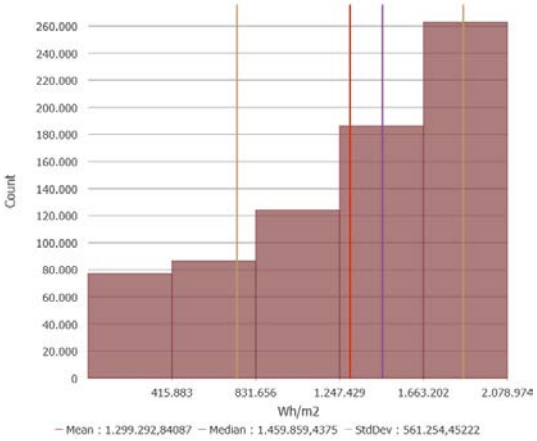
Figura 117. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubierta. Periodo:1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

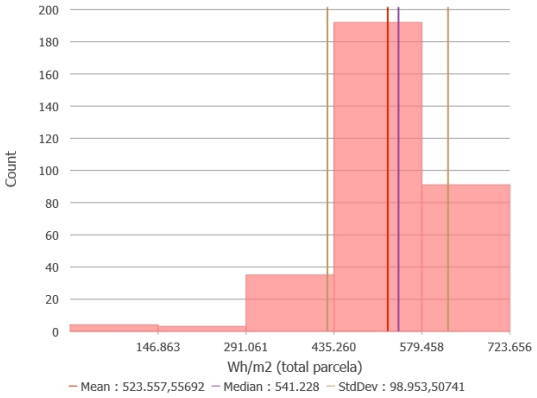
En cuanto a los datos anuales, suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y en el de meses cálidos, el promedio de captación en las cubiertas está en torno a los 1.299 kW h/m$^2$

Figura 118. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubierta.
Tejido urbano: Ensanche



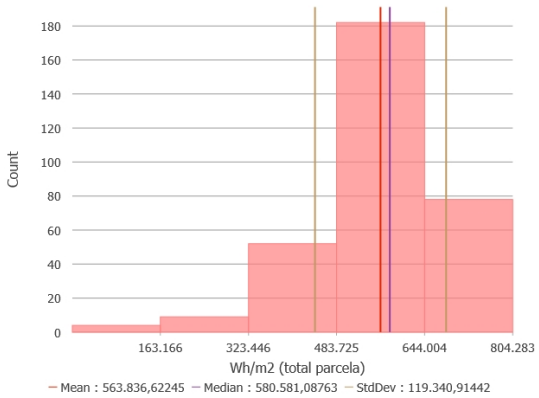

En los valores por m$^2$ de parcela se puede observar que la media para los distintos periodos disminuye respecto a los cálculos de radiación sobre las propias cubiertas. En los meses cálidos se alcanza un valor de 523 kWh/m$^2$ y en los meses más fríos 563 kWh/m$^2$. Esto es debido al cómputo en dicho cálculo de la superficie total de la parcela respecto a la ocupación de los edificios.

Figura 119. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela
Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

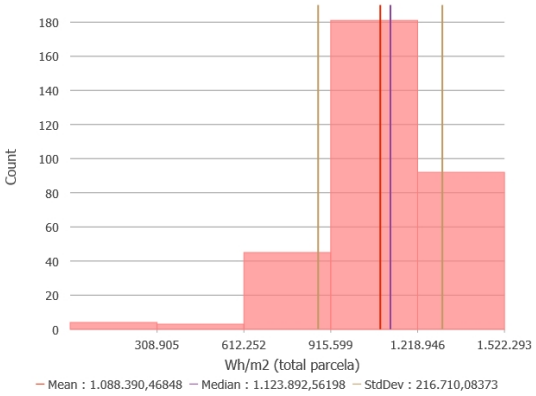
Figura 120. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela
Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios de irradiación anual por m$^2$ de parcela arrojan un resultado de 1.088 kWh/m$^2$ también inferior al cálculo correspondiente a las cubiertas, por el motivo especificado anteriormente.

Figura 121. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela
Tejido urbano: Ensanche




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.6. Bloque lineal (BL)

En el caso del tejido urbano correspondiente al Bloque Lineal, ubicado en el barrio de San Cristóbal de los Ángeles (distrito de Villaverde), el 54 % de las cubiertas son planas, frente al 46 % de cubiertas inclinadas. Dentro de esta útlima categoría existe un mayor predominio de cubiertas con poca inclinación (60%), cuyas pendientes oscilan entre 10º-20º. El resto se reparte entre las que tienen pendientes entre 20º-40º (30%) y las más inclinadas (10%), con valores de 40º-50º (más información en Anexo II, planos BL02 y BL03)

Figura 122. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque Lineal

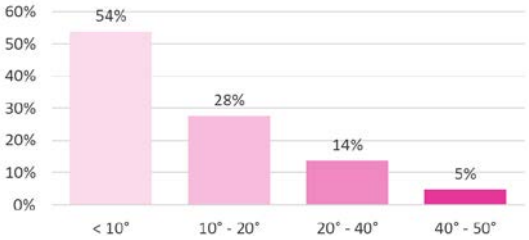
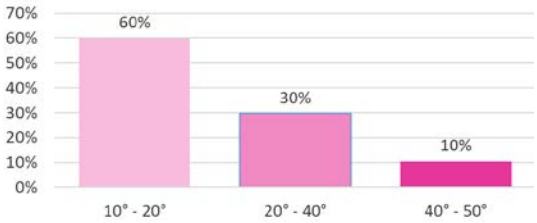



Figura 123. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque Lineal




Fuente: Elaboración propia

Respecto a las orientaciones de las cubiertas inclinadas se observa que el 56,51 % de los faldones se orientan norte-sur, mientras que en orientación este-oeste hay un 43,49 % (más información en Anexo II, plano BL04)

Figura 124. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque Lineal

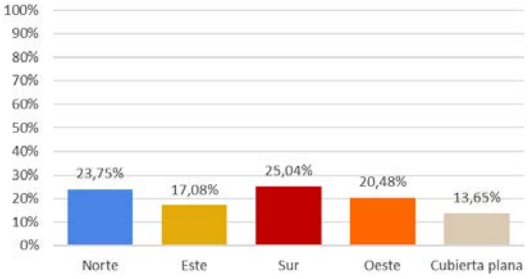
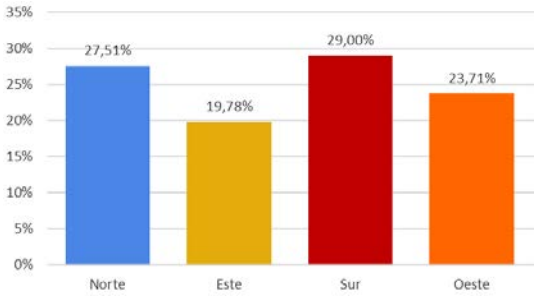


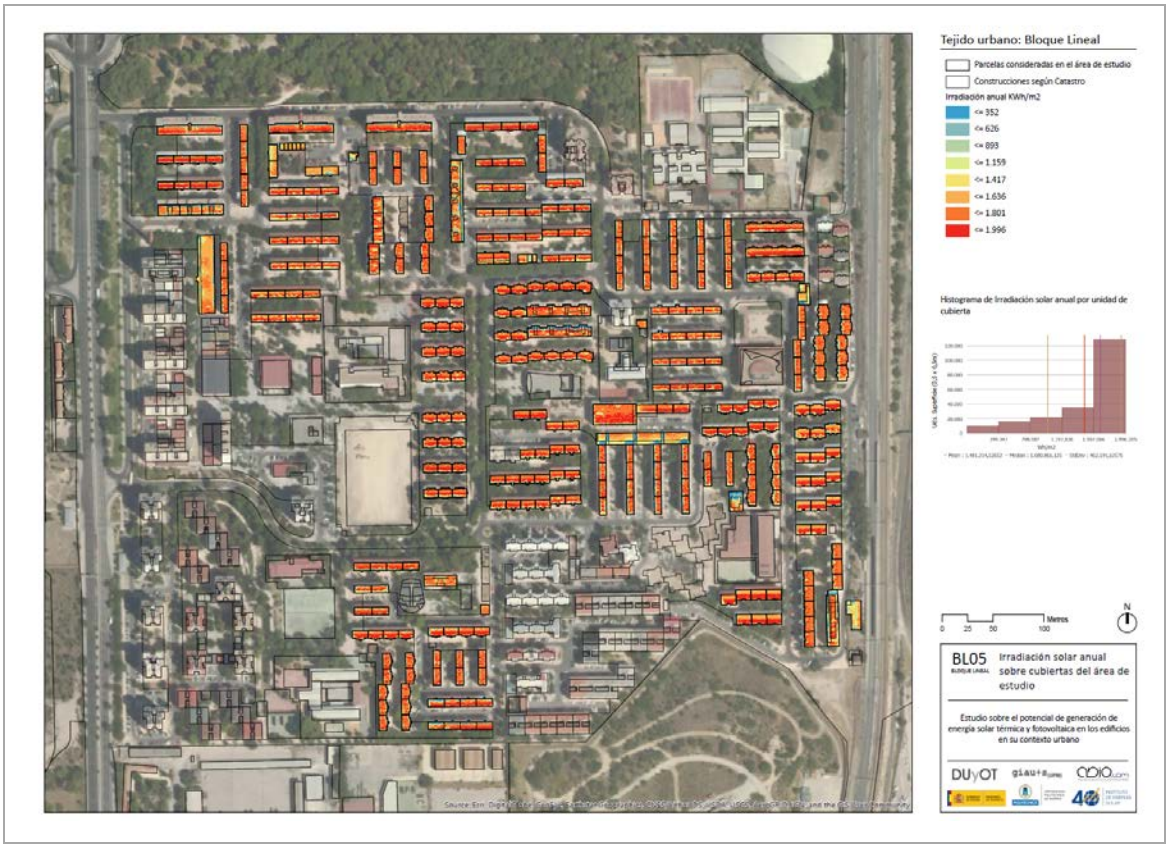

Figura 125. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque Lineal




Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la captación de radiación solar en cubiertas se observa claramente, tanto en el caso anual como en los periodos fríos y cálidos, cómo los faldones inclinados con orientación sur son los que reciben mayor irradiación por $m^2$ de cubierta, seguidos por las cubiertas planas (más información en Anexo II, planos BL05, BL07 y BL09). En los casos en que el eje longitudinal de los edificios está orientado norte-sur, se observa una captación menor, puesto que los faldones de cubierta están orientados este-oeste.

Figura 126. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Bloque lineal

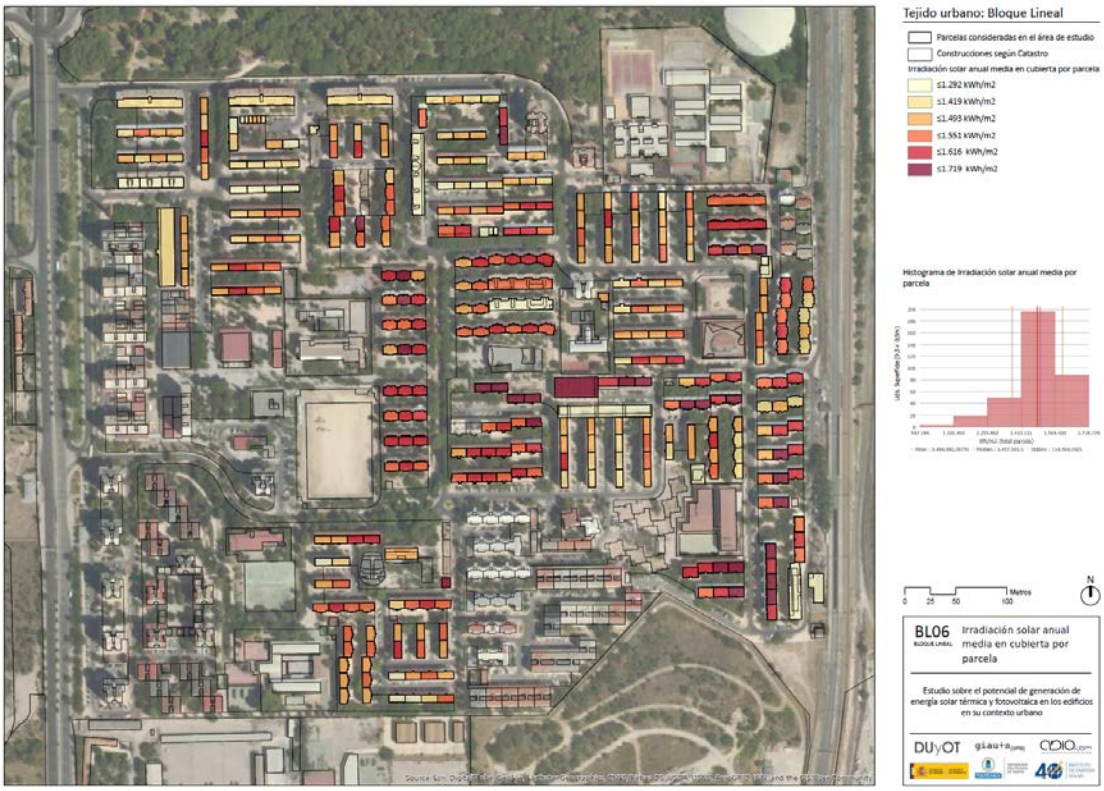



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

En los datos de irradiación anual media en cubiertas de edificios por parcela se observa que la variación entre el máximo (1.719 kW h/$m^2$) y el mínimo (1.292 kW h/$m^2$) es mucho menor que en otros casos. Una de las causas está relacionada con la gran cantidad de edificios con cubierta

prácticamente plana, a lo que se añade que la ocupación de las parcelas por los edificios es mayor, colmatándose prácticamente al 100%. Las pequeñas diferencias encontradas en parcelas que se encuentran en una situación similiar, respecto a orientación, ocupación y tipología edificatoria, se deben a pequeñas variaciones efectuadas en la volumetría de los propios edificios como, por ejemplo, la cubrición y cierre de terrazas, que aumentan la superficie de captación de la cubierta (más información en Anexo II, plano BL06, BL08 y BL10)

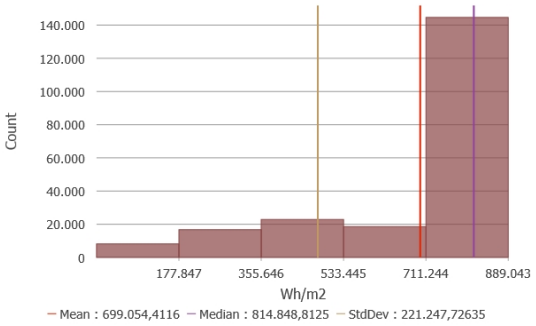
Figura 127. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Bloque Lineal




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

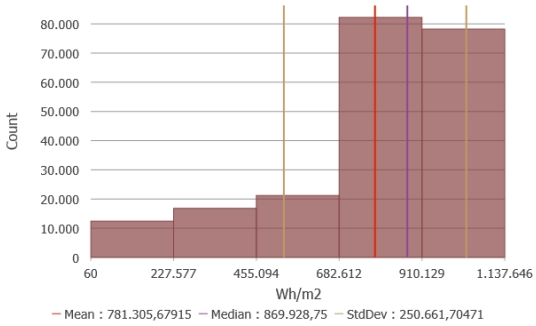
En el cálculo de los histogramas, se puede observar cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) arroja unos datos de 781 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos valores similares, aunque algo menores, de 699 kW h/m$^2$. Las causas ya han sido descritas en otros casos estudiados.

Figura 128. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque lineal




Fuente: Elaboración propia

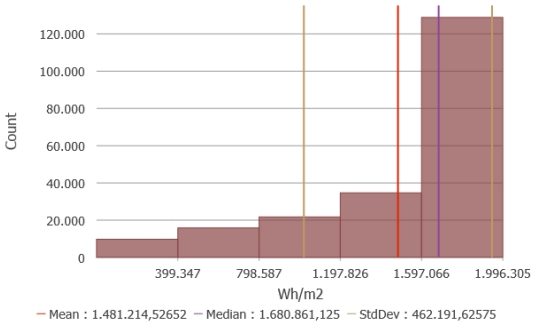
Figura 129. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo:1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Bloque lineal




Fuente: Elaboración propia

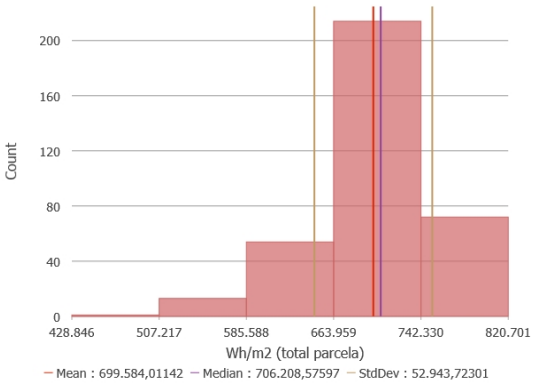
Respecto a los datos anuales, suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y en el de meses cálidos, el promedio de captación en las cubiertas está en torno a los 1.481 kW h/$m^2$

Figura 130. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta. Tejido urbano: Bloque lineal



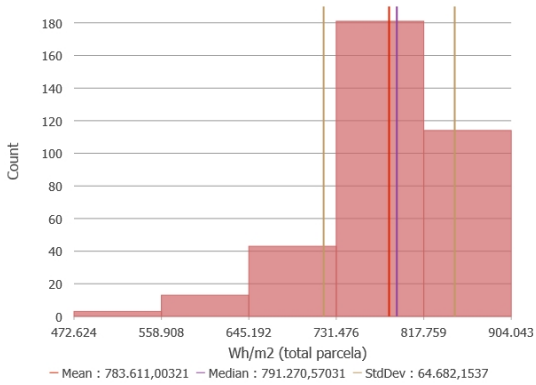

En los valores por $m^2$ de parcela se observa que la media para los distintos periodos es prácticamente igual respecto a los cálculos de radiación sobre las propias cubiertas. En los meses cálidos se alcanza un valor de 699 kWh/$m^2$ y en los meses más fríos 783 kWh/$m^2$. Esto es debido a que los edificios, en casi todos, los casos colmatan prácticamente la superficie total de las parcelas.

Figura 131. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque lineal




Fuente: Elaboración propia

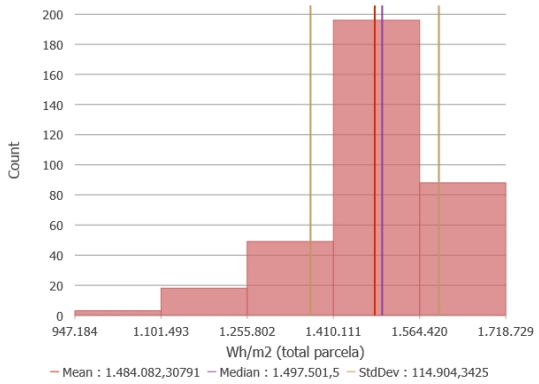
Figura 132. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Bloque lineal




Fuente: Elaboración propia

Los valores medios de irradiación anual por $m^2$ de parcela arrojan un resultado de 1.484 $kWh/m^2$ prácticamente igual al correspondiente a los valores anuales por cubierta, debido al motivo especificado anteriormente.

Figura 133. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela
Tejido urbano: Bloque lineal




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.7. Bloque en H (BH)

En la trama urbana correspondiente al Bloque en H, ubicada en el Barrio del Pilar, se ha comprobado que el tipo de cubierta predominante es la cubierta plana. En el análisis de pendientes realizado a través de los datos LIDAR se observan áreas con inclinación > 70º, pero, como se ha mencionado en puntos anteriores, son principalmente errores asociados a la captura de datos, en los encuentros del plano de dichas cubiertas con los petos y casetones existentes. En menor medida también aparecen edificios con cubierta inclinada correspondientes a equipamientos y dotaciones del barrio (más información en Anexo II, planos BH02 y BH03)

Figura 134. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque en H

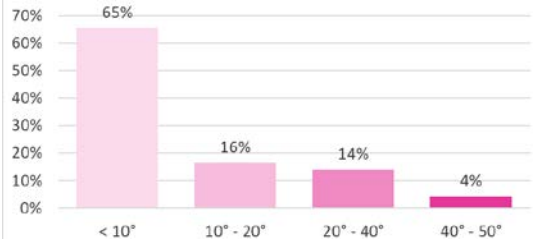
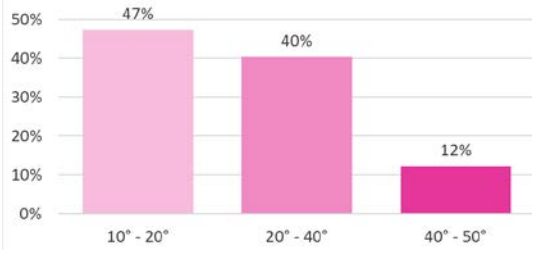



Figura 135. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

Respecto a las orientaciones, dadas las circunstancias anteriormente descritas, la mayoría de las cubiertas son planas. En este caso, además, al homogeneizar y unificar los valores de los pixeles ubicados en cubiertas planas (debido al efecto “papel arrugado”), el porcentaje se incrementa considerablemente (> 95%), frente a escasos ejemplos de cubiertas inclinadas, con faldones orientados a sur, norte, este y oeste (más información en Anexo II, plano BH04)

Figura 136. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque en H

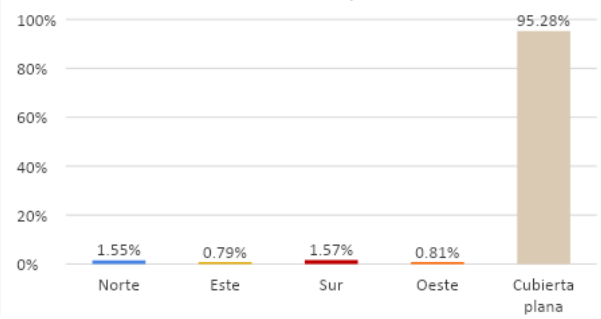
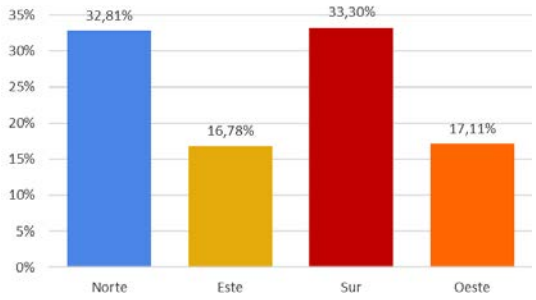


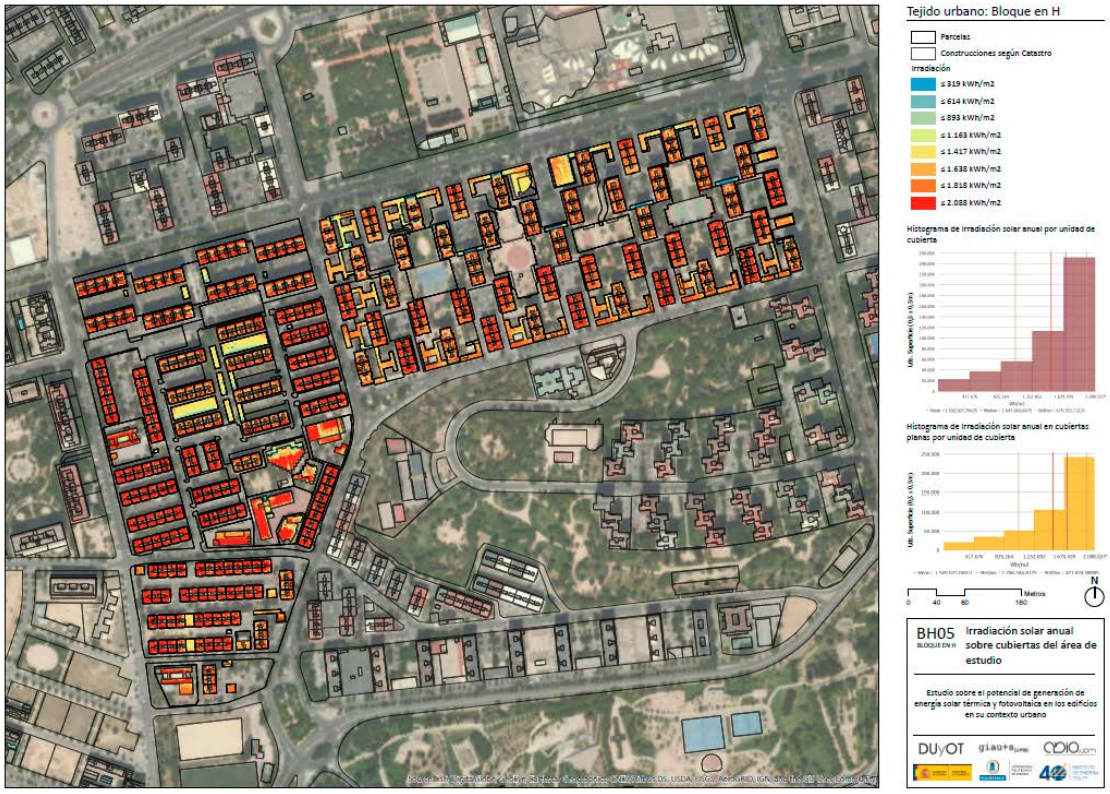

Figura 137. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la irradiación solar en cubiertas, existe un gran potencial de captación en el barrio debido a la tipología edificatoria, predominantemente con cubierta plana, donde se alcanzan valores anuales de hasta 2.088 kW h/m$^2$ (más información en Anexo II, planos BH05, BH07 y BH09)

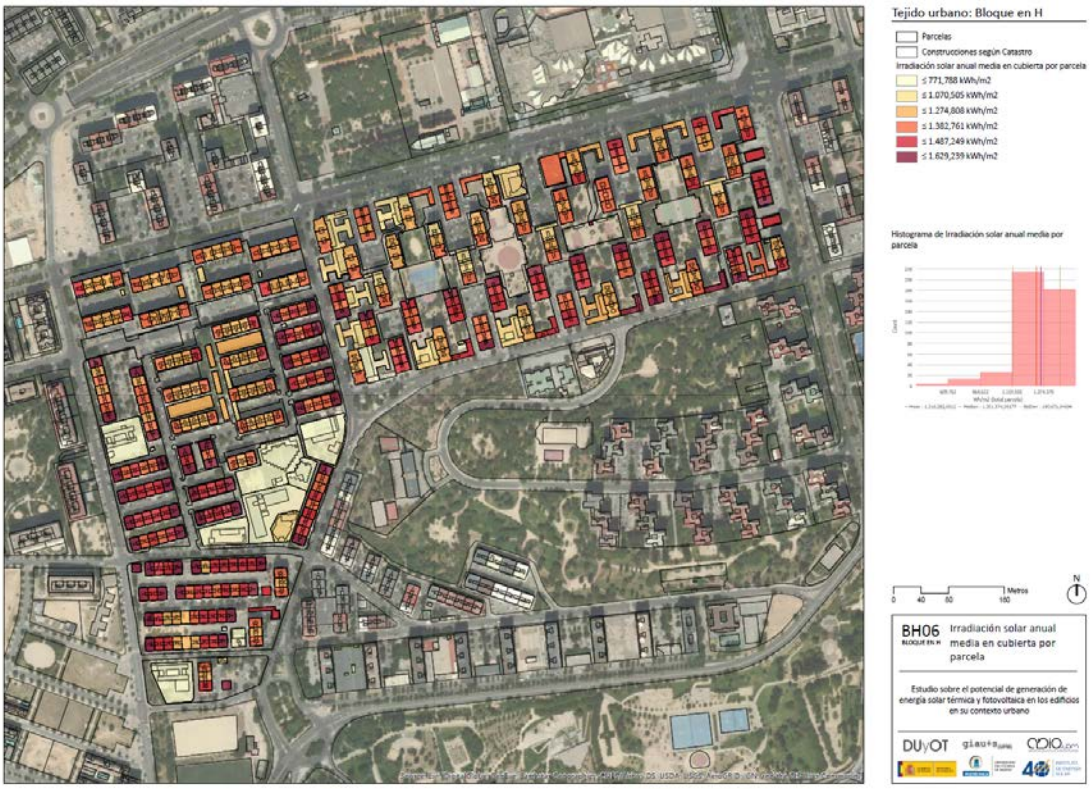
Figura 138. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Al anlizar las parcelas, se puede observar que aquellas que cuentan con edificios con una mayor superficie de cubierta o las que están ubicadas en los extremos de los bloques, al tener menos superficie destinada a casetones y mayor superficie de cubierta plana, tienen mayor capacidad de captación de energía solar. Esta circunstancia ocurre en los tres periodos temporales predeterminados (más información en Anexo II, planos BH06, BH08 y BH10)

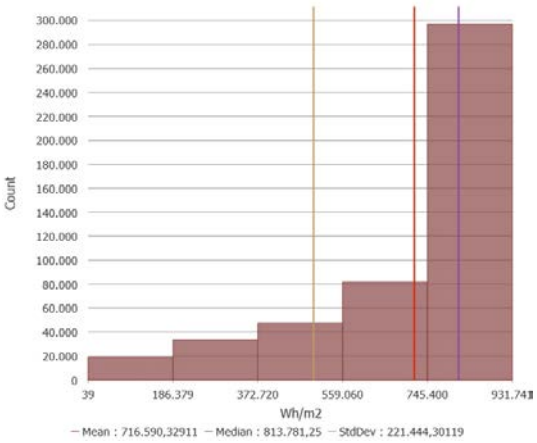
Figura 139. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

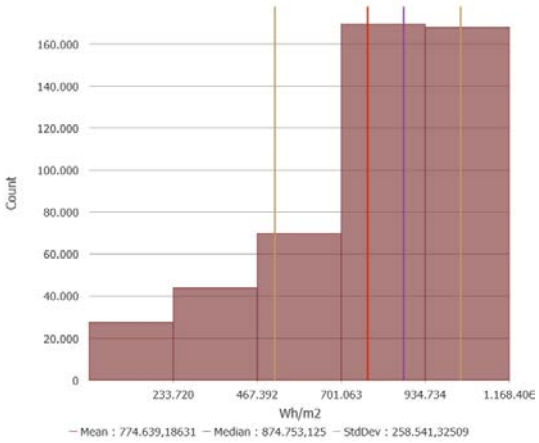
Por último, respecto al cálculo de los histogramas, se puede observar cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) ofrece unos datos de 774 kW h/m$^2$, mientras que en el periodo de meses más cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos resultados similares, de 716 kW h/m$^2$. Esto es debido a la variación de horas de sol y a la altura solar a lo largo del año, ya que en los meses cálidos es mucho mayor que en los fríos, lo que justifica que en tan sólo 4 meses se pueda captar prácticamente la misma cantidad de energía que en el resto del año.

Figura 140. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

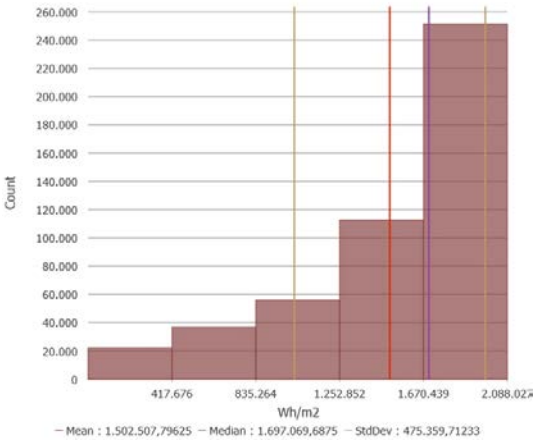
Figura 141. Histograma de irradiación por m$^2$ de cubierta. Periodo:1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

Respecto a los datos anuales, el promedio de captación está en torno a los 1.502 kW h/m$^2$ (suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y el de meses cálidos)

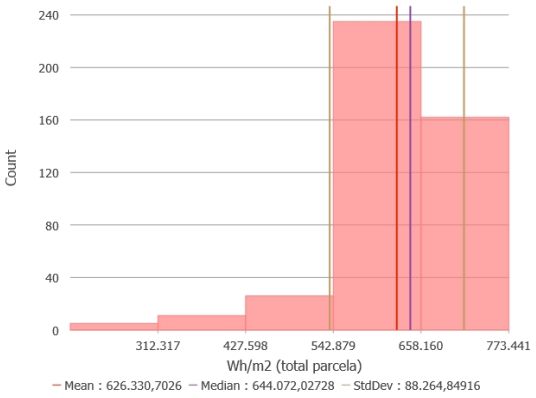
Figura 142. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de cubierta.
Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

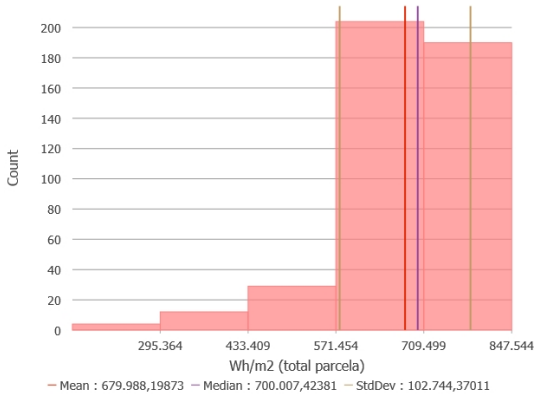
Si los valores anteriores se calculan por m$^2$ de parcela, y no de cubierta, se puede observar que la media para los distintos periodos disminuye ligeramente: en los meses cálidos se alcanza un valor de 626,33 kWh/m$^2$ y en los meses más fríos 679,98 kWh/m$^2$. Esto es debido al cómputo en el cálculo de la superficie total de la parcela respecto a la ocupación del edificio.

Figura 143. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

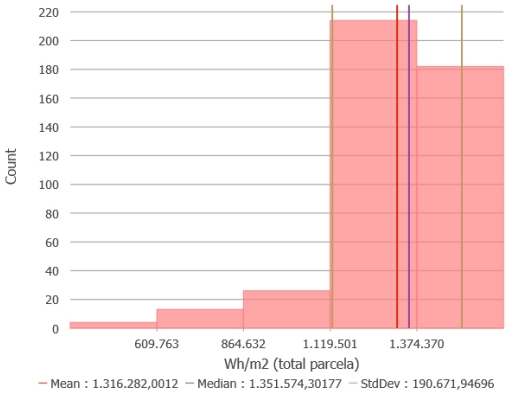
Figura 144. Histograma de irradiación por m$^2$ de parcela Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

El cálculo de los valores medios de irradiación anual por m$^2$ de parcela arroja unos resultados de 1.316 kWh/m$^2$, también inferior al que reciben las cubiertas por el motivo especificado anteriormente.

Figura 145. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de parcela
Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia

## 5.2.8. Manzana moderna (MM)

En el caso de estudio correspondiente a la tipología urbana de Manzana Moderna, ubicada en el barrio de Palomeras Bajas (distrito de Vallecas), se observa que hay un predominio de cubiertas con pendientes < 10º, que se consideran planas. De la categoría de cubiertas inclinadas prácticamente el 50 % se encuentran en un intervalo de inclinación ente 20º-40º, seguidas de las cubiertas con 10º-20º de inclinación (35%). La cubiertas menos abundantes son las que alcanzan mayores valores de inclinación, entre 40º-50º, que representan un 15% del total (más información en Anexo II, planos MM02 y MM0)

Figura 146. Porcentaje de cubiertas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Manzana Moderna

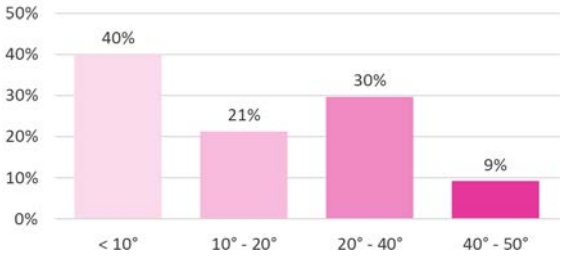
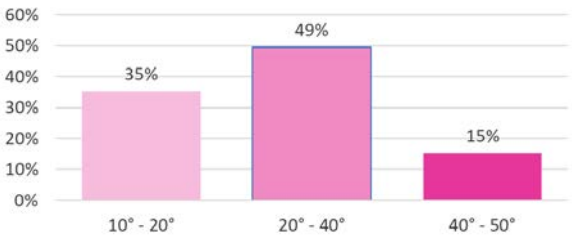



Figura 147. Porcentaje de cubiertas inclinadas según intervalos de inclinación – Tejido urbano: Manzana Moderna




Fuente: Elaboración propia

Al unificar las superficies de las cubiertas planas (para evitar el efecto “papel arrugado”) el porcentaje aumenta hasta un 72 % respecto al total.

En cuanto a las orientaciones de los faldones de cubiertas inclinadas hay un reparto bastante proporcional, existiendo un 52 % orientados norte-sur, frente al 48 % orientado este-oeste (más información en Anexo II, plano MM04)

Figura 148. Porcentaje de cubiertas planas e inclinadas según orientación – Tejido urbano: Manzana moderna

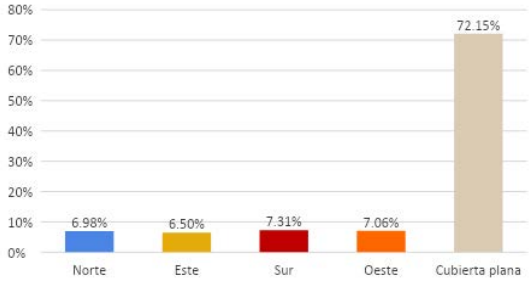
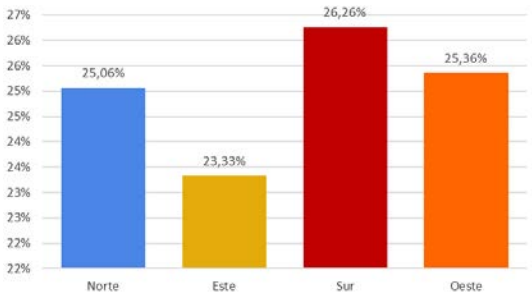


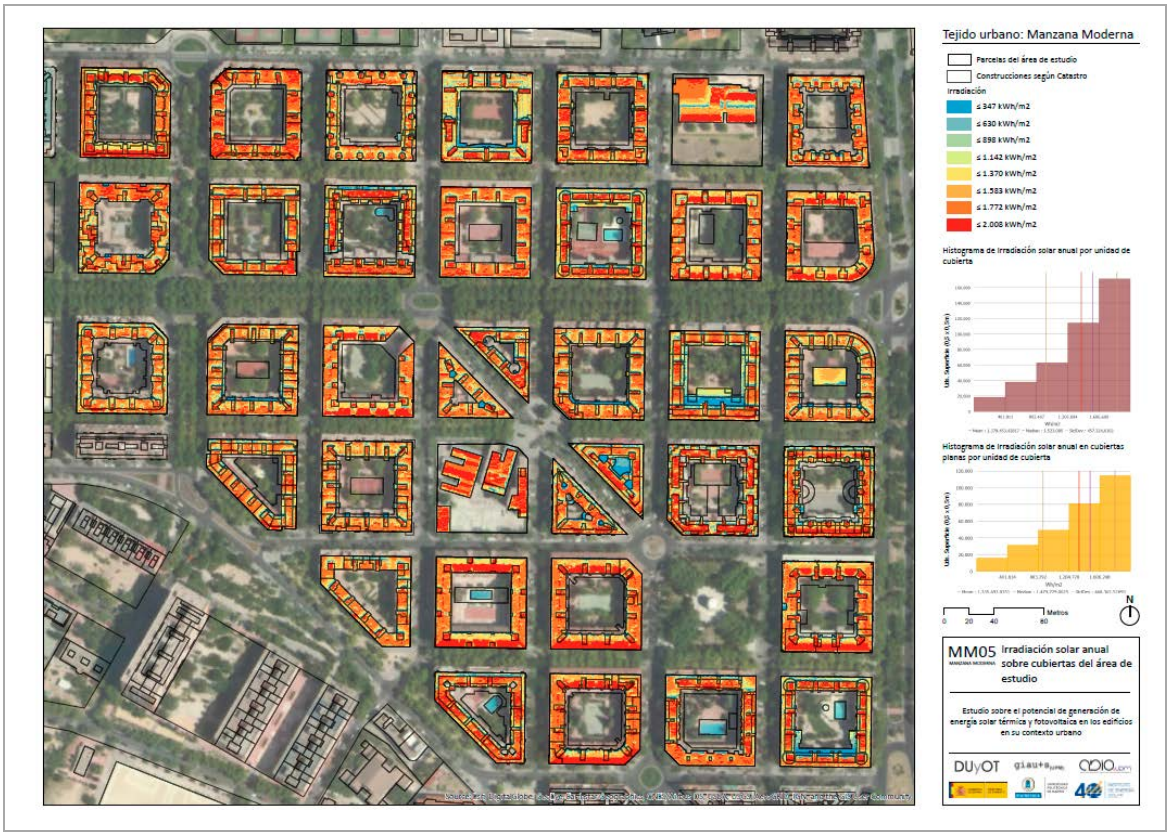

Figura 149. Porcentaje de cubiertas inclinadas según orientación – Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

Respecto a la captación de la radiación solar en cubiertas se comprueba, para todos los periodos estudiados, que las cubiertas inclinadas a sur son las que mayor cantidad de radiación solar captan (valor anual ≤ 2.008 kWh/m$^2$), seguidas de las cubiertas planas (más información en Anexo II, planos MM05, MM07 y MM09). Sin embargo, las cubiertas orientadas a norte con obstrucciones solares, provocadas en muchas ocasiones por los cambios de altura de las propias edificiones o cuerpos salientes, apenas llegan a captar el 25% respecto a los casos más favorables (valor anual ≤ 347 kWh/m$^2$)

Figura 150. Irradiación solar anual sobre cubiertas – Tejido urbano: Manzana moderna

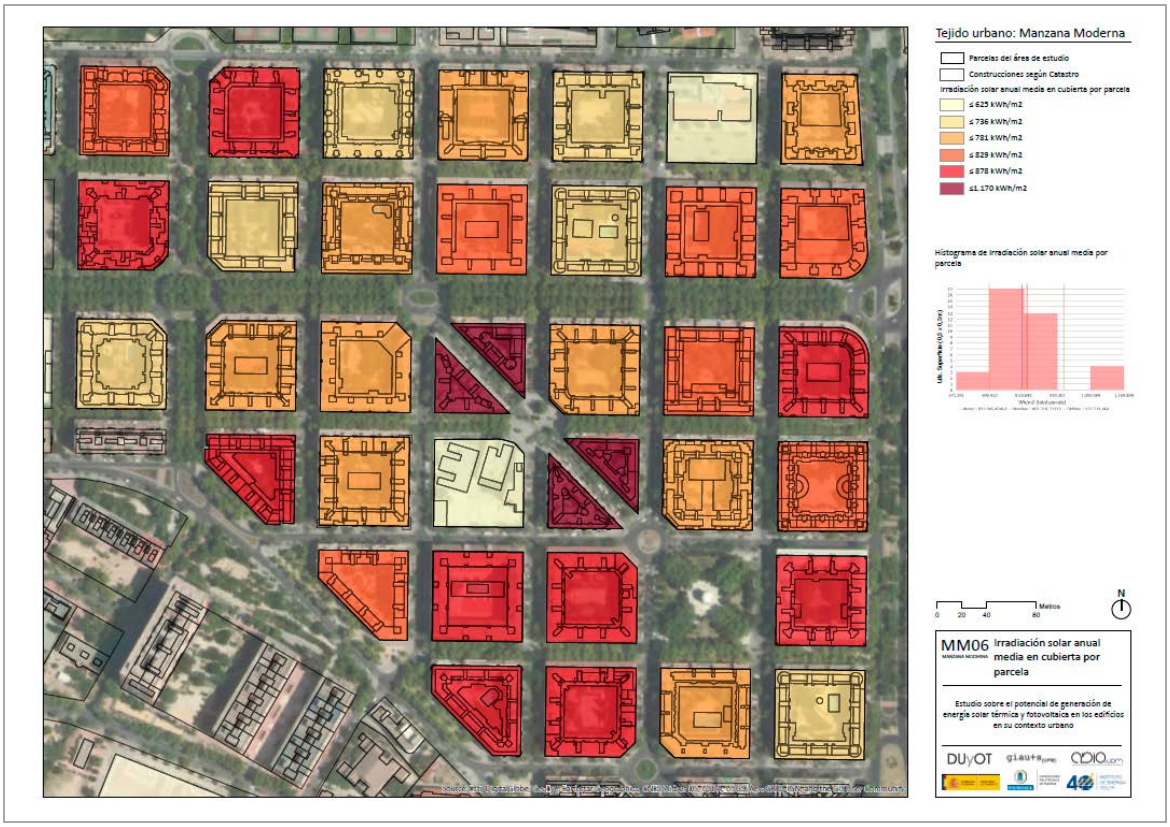



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

En cuanto a la captación solar en relación a la superficie de parcela, se observa que aquellas que cuentan con mayor superficie ocupada obtienen valores más altos de irradiación por m$^2$. Aunque en

todos los casos dichos valores son menores que los calculados para las cubiertas, debido a la proporción entre la ocupación de los edificios y la superficie total de las parcelas. Por ejemplo, los mayores valores alcanzados por $m^2$ de parcela en el periodo anual son de 1.170 kWh/$m^2$, prácticamente el 50% del valor hallado respecto al $m^2$ de cubierta en el mismo periodo. Este dato se encuentra en las parcelas con mayor ocupación. Por el contrario, los menores valores alcanzados (625 kWh/$m^2$) se dan en aquellas parcelas donde la ocupación es mucho menor (más información en Anexo II, planos MM06, MM08 y MM10)

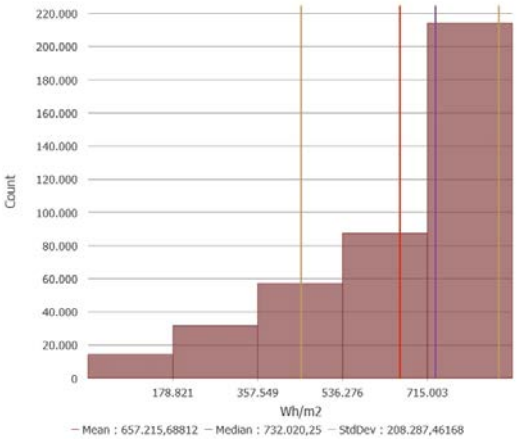
Figura 151. Irradiación solar anual media en cubierta por parcela – Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

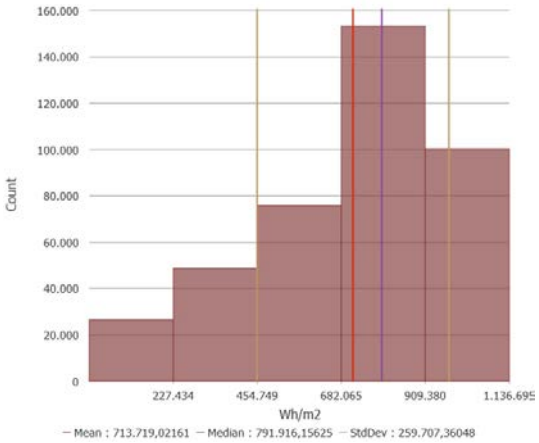
En cuanto al cálculo de los histogramas, se puede observar cómo la media de irradiación solar captada en los meses fríos (8 meses) ofrece unos datos de 713 kW h/$m^2$, mientras que en el periodo de meses más cálidos, mucho más corto (4 meses), se obtienen unos resultados ligeramente inferiores de 657 kW h/$m^2$. Esto es debido a la variación de horas de sol y a la altura solar a lo largo del año, ya que en los meses cálidos es mucho mayor que en los fríos, lo que justifica que en tan sólo 4 meses se pueda captar prácticamente la misma cantidad de energía que en el resto del año.

Figura 152. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

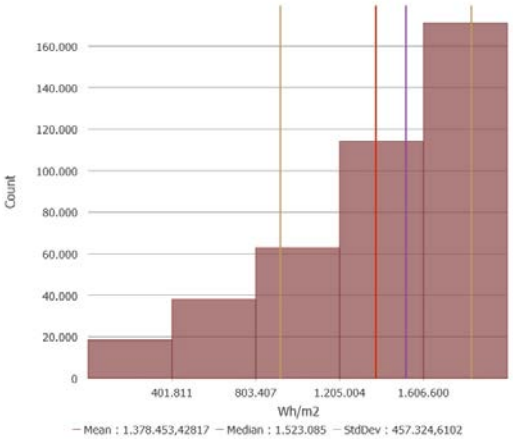
Figura 153. Histograma de irradiación por $m^2$ de cubierta. Periodo: 1 oct-31 mayo. Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

En cuanto al periodo anual el valor medio de irradiación alcanza los 1.378 kW h/$m^2$ (suma de la radiación captada en el periodo de meses fríos y el de meses cálidos)

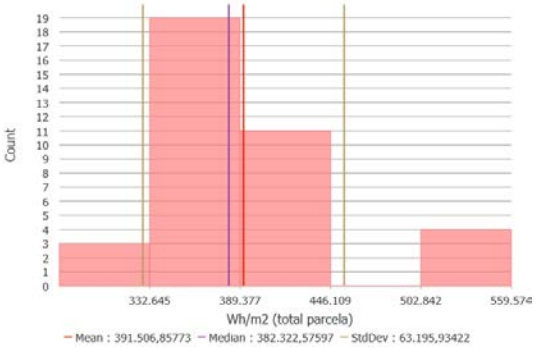
Figura 154. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta.
Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

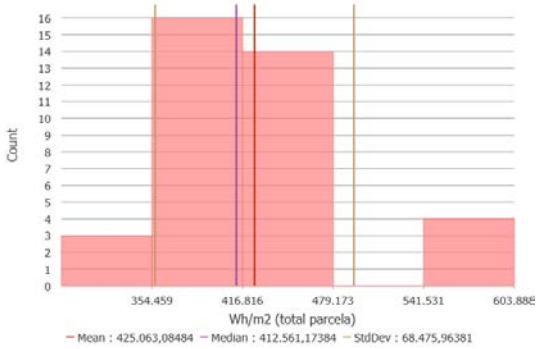
Por último, respecto a los valores de irradiación por $m^2$ de parcela se observa cómo los valores descienden considerablemente, debido a las circunstancias anteriormente descritas. La media en el periodo cálido es de 391 kW h/$m^2$, mientras que en el periodo frío (8 meses) alcanza los 425 kW h/$m^2$

Figura 155. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela
Periodo: 1 jun-30 sep. Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

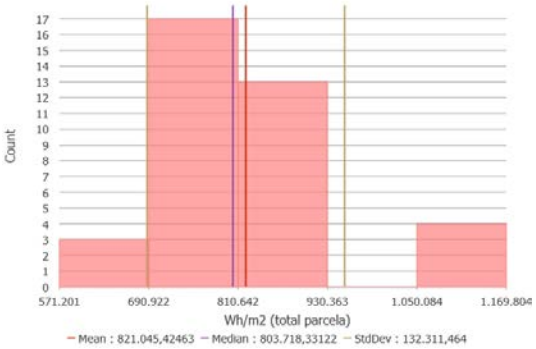
Figura 156. Histograma de irradiación por $m^2$ de parcela
Periodo: 1 oct-3 mayo. Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

En el perior anual los valores alcanzados por $m^2$ de parcela son de 821 kW h/$m^2$, también inferiores a los calculados por $m^2$ de cubierta.

Figura 157. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de parcela
Tejido urbano: Manzana moderna




Fuente: Elaboración propia

# 6. INTEGRACIÓN Y SÍNTESIS DE RESULTADOS

En esta sección se integran los resultados de las secciones 4 y 5, con el objeto de ajustar los rangos teóricos de cobertura de la demanda energética resultantes del aprovechamiento solar activo de las cubiertas de los edificios-tipo ("clústers"), teniendo en cuenta el recurso solar realmente disponible en las cubiertas de los edificios residenciales presentes en los tejidos urbanos representativos de la ciudad de Madrid.

Se ha cuantificado el efecto que los correspondientes tejidos tienen sobre el recurso solar disponible sobre los planos de captación, y su aplicación a la cobertura de demanda energética de los edificios–tipo en los escenarios definidos.

Como se ha mencionado anteriormente, dado el alcance del estudio realizado no se puede afirmar que los resultados obtenidos para la ciudad de Madrid sean representativos de otros contextos urbanos presentes en la geografía española.

El análisis realizado para cada uno de los tejidos urbanos revela información de gran utilidad, como se ha reflejado en las secciones anteriores. Sin embargo, un análisis comparado de los resultados también resulta de gran interés, de cara a entender y extraer conclusiones respecto a las diferencias y similitudes obtenidas.

Este análisis se ha realizado atendiendo a dos tipos de resultados: los de irradiación solar media por superficie de cubierta de edificio y los de irradiación solar media por superficie de cubierta por parcela. Es decír, la diferencia entre ambos valores es que el segundo está relacionado con el tamaño de las parcelas y la ocupación edificatoria.

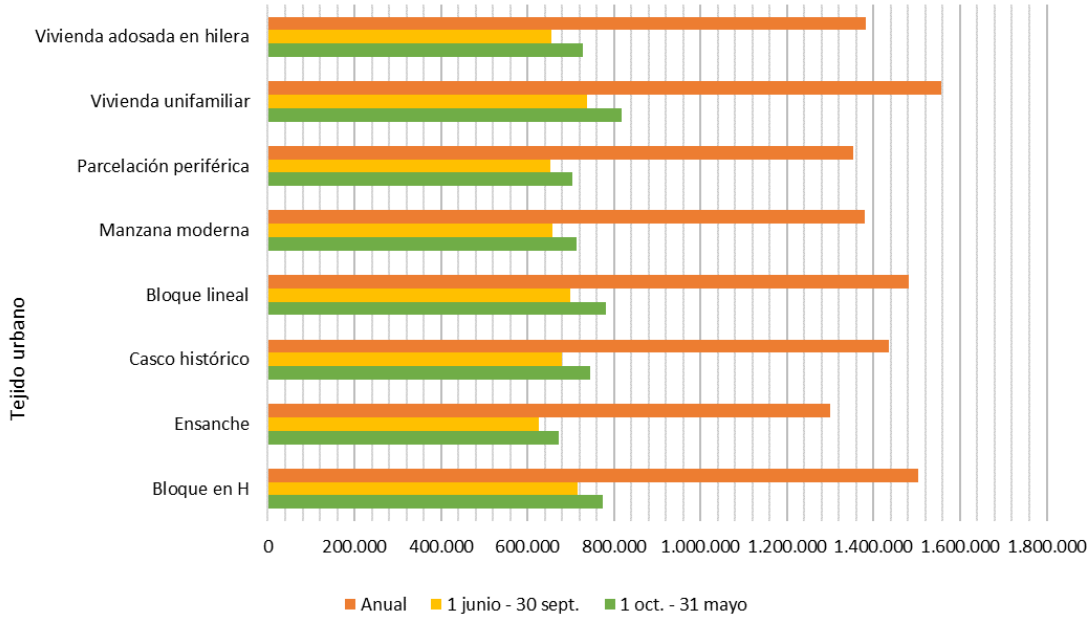
## 6.1. Efecto de los tejidos urbanos sobre el recurso solar disponible en cubiertas

Los tejidos urbanos suponen múltiples efectos en la incidencia de la radiación solar sobre las cubiertas de los edificios, la cual depende entre otros factores de la densidad e irregularidad en altura edificatoria de la trama urbana (cuanto mayor es la densidad y la irregularidad, mayores son las sombras que unos edificios arrojan sobre otros), consideraciones geométricas (orientación de las calles y parcelas y, por ende, de los edificios) así como de la superficie receptora considerada. Por ello, dado el alcance del presente estudio se ha adoptado un enfoque conservador, consistente en calcular la reducción de irradiación global anual incidente sobre cubiertas inclinadas cuasi-óptimas en cada tejido urbano y aplicar dicha reducción a todos los planos de captación solar considerados en los clústers asignados. Así, dada la variedad de tipologías de cubiertas existentes, mostrada en la sección 5, se consideran cubiertas inclinadas "cuasi-óptimas" las orientadas al sur e inclinadas un ángulo comprendido entre los 20 y los 40º

La primera observación es que los valores de irradiación media anual de cada uno de los tejidos analizados presentan ciertas diferencias, con una variación entre el valor máximo y mínimo obtenido en torno a un 20%.

Atendiendo a los dos periodos del año estudiados (calefacción y refrigeración), se observa que esta diferencia es ligeramente superior en el periodo de octubre a mayo[33] (21,5%) que en el periodo de junio a septiembre[34] (18,0%). Esto es debido a la variación de la posición del sol a lo largo del año y a la exposición desigual de parte de las cubiertas, causada principalmente por el efecto de las sombras producidas por cambios de altura, diversidad de volúmenes existentes (como chimeneas, mansardas, casetones, etc), así como a los propios ángulos de inclinación de las superficies de cubierta.

Figura 158.. Histograma de irradiación anual por $m^2$ de cubierta según tipología de tejido urbano ($Wh/m^2$)




Fuente: Elaboración propia

Los tejidos urbanos con valores más elevados son los de Vivienda Unifamiliar (VU), Bloque en H (BH) y Bloque Lineal (BL). Las características comunes de las cubiertas de los edificios de estos tejidos son la menor cantidad de elementos sobresalientes en cubierta. Esta circunstancia produce una considerable disminución de las sombras arrojadas, a lo que se añade la altura homogénea de gran parte de los edificios o la mayor distancia entre los mismos, como es el caso de las viviendas unifamiliares, que evitan el sombreamiento de unos edificios sobre otros. Ambas características pueden observarse claramente en el análisis de pendientes, así como en el estudio de irradiación solar, donde es posible apreciar las superficies afectadas por las sombras de los volúmenes sobresalientes en cubierta.

Por otro lado, los edificios del tejido tipo Bloque en H analizado son, casi en tu totalidad, de cubierta plana (95%) y los edificios del tejido de Bloque Lineal presentan en su gran mayoría una

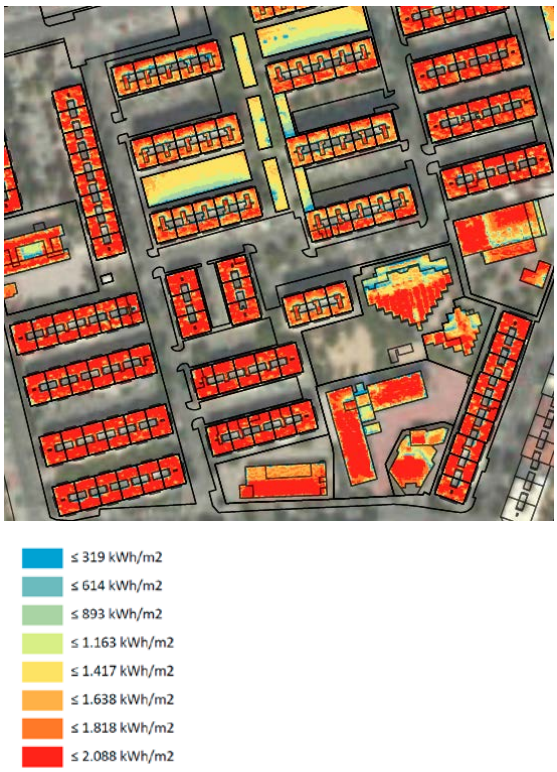
[33] Periodo de calefacción

[34] Periodo de refrigeración

cubierta inclinada de escasa pendiente, prácticamente plana (con un 54% de cubiertas por debajo de 10º y aproximadamente un 30% con cubiertas entre 10º-20º)

Figura 159. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Bloque en H

Figura 160. Irradiación anual – Tejido urbano: Bloque en H




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Sin embargo, los edificios del tejido de Vivienda Unifamiliar analizado son en su mayoría de cubierta inclinada, presentando los mayores valores. El análisis de orientación de cubiertas de este tejido (para más información consultar en anexos plano VU04) muestra cómo, debido a la tipología específica, hay diversidad de orientaciones, con una ligera predominancia de las Norte-Sur. La escasez de irradiación solar en las superficies orientadas a norte parece estar compensada por el resto de orientaciones, a la vista de los resultados.

Figura 161. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

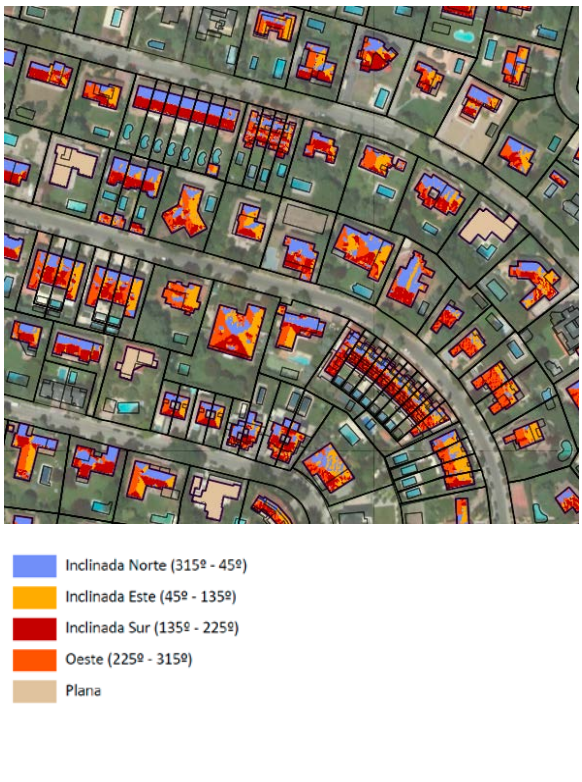
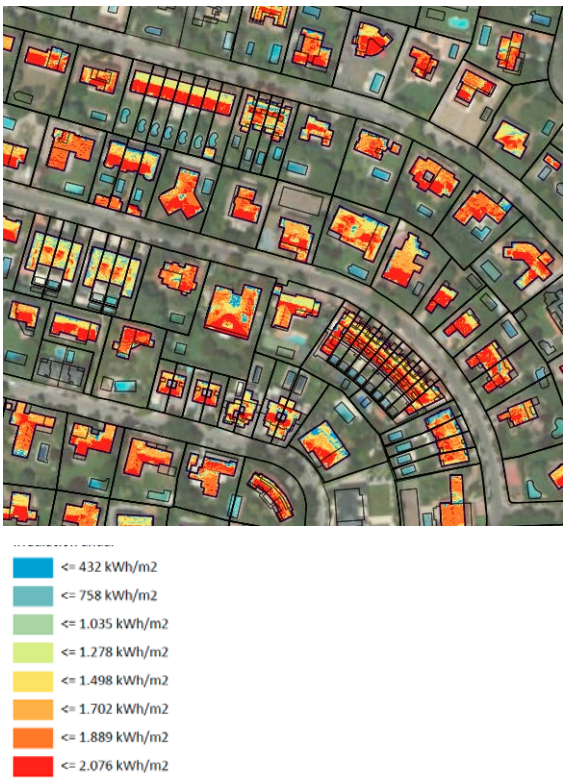



Figura 162. Irradiación anual – Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

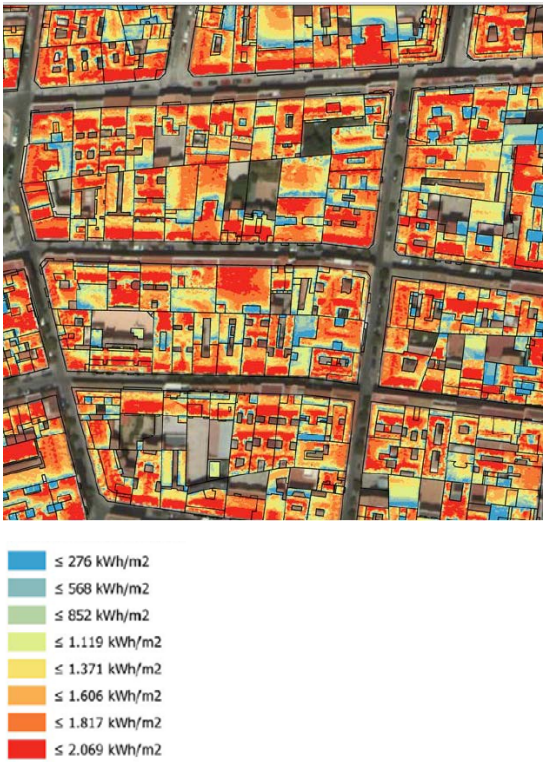



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Los tejidos urbanos con valores menos elevados son los correspondientes a la tipología de Ensanche, Parcelación Periférica y Manzana Moderna. Los planos de inclinación de superficie de cubierta en estos casos revelan claramente la complejidad volumétrica de las mismas (para más información consultar en anexos plano PP02). La abundante presencia de elementos sobresalientes en cubierta (casetones de ascensor o de instalaciones, chimeneas, mansardas, construcciones, pequeñas terrazas y petos, etc.) influye, sin duda, aumentando la superficie de cubierta que recibe sombras arrojadas a lo largo del día y reduce, por tanto, las posibilidades de captación de la radiación solar. A ello se suma también la diferencia de altura de los distintos edificios, que produce sombra de unas cubiertas sobre otras.

Figura 163. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Parcelación Periférica

Figura 164. Irradiación anual – Tejido urbano: Parcelación Periférica




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

Caso particular es el tejido tipo Ensanche, en el que se alcanzan menores valores, y en el que se encuentran volúmenes construidos de altura muy diferenciada, que reciben las sombras de los cuerpos edificados de mayor altura colindantes. Ocurre particularmente en los interiores de patio de manzana edificados, algo que, aunque no está presente en todas las manzanas, tampoco es infrecuente. Estos volúmenes construidos (en su mayor parte correspondientes a pequeñas naves comerciales, industriales o aparcamientos cubiertos, etc., integrados en las manzanas residenciales) presentan valores muy bajos de irradiancia solar, reduciendo la media del tejido urbano (para más información consultar plano EN05 en anexos)

Figura 165. Orientación de Cubiertas – Tejido urbano: Ensanche

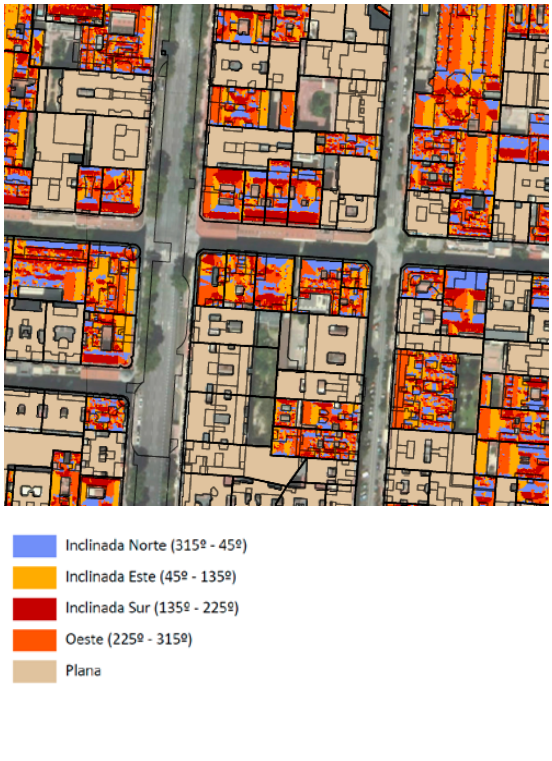



Figura 166. Irradiación anual – Tejido urbano: Ensanche

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

A continuación se ofrece una tabla resumen con los valores de irradiación solar por superficie de cubierta según tejido urbano, para los tres periodos contemplados.

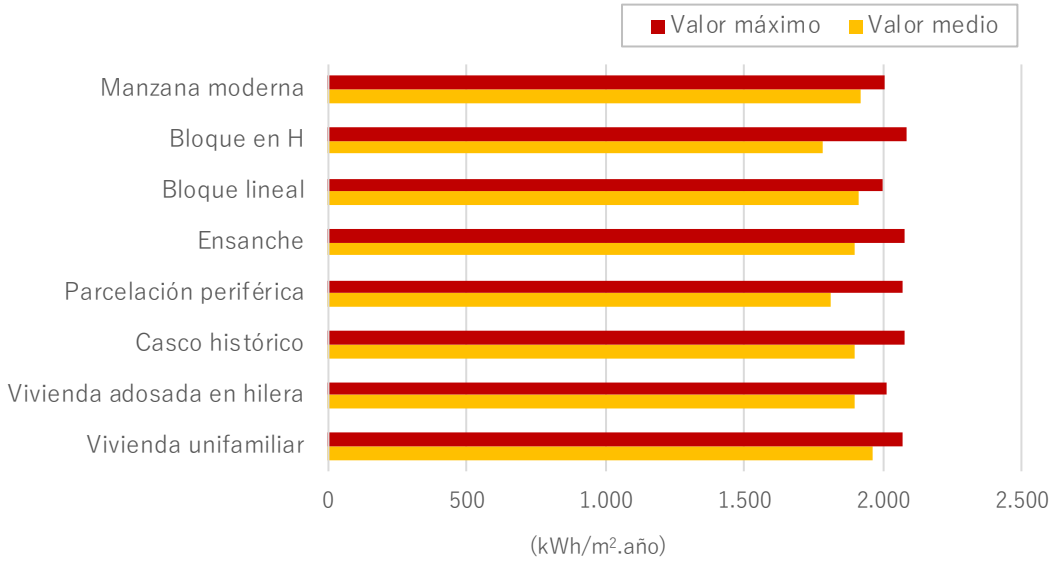
Tabla 13. Valor medio de Irradiación por superficie de cubierta (kWh/m$^2$) según tejido y periodo del año

| Tipo de tejido | Anual | 1 junio - 30 sept. | 1 oct. - 31 mayo |
|---|---|---|---|
| Bloque en H | 1.502 | 716 | 774 |
| Ensanche | 1.299 | 625 | 673 |
| Casco histórico | 1.434 | 680 | 743 |
| Bloque lineal | 1.481 | 699 | 781 |
| Manzana moderna | 1.378 | 657 | 713 |
| Parcelación periférica | 1.351 | 651 | 704 |
| Vivienda unifamiliar | 1.557 | 737 | 818 |
| Vivienda adosada en hilera | 1.383 | 654 | 727 |

Fuente: Elaboración propia

La Figura 165 muestra para cada uno de los tejidos los valores máximos y promedio de irradiación global anual sobre cubiertas "cuasi-óptimas", siendo el valor máximo el correspondiente a una superficie con inclinación de 30º.

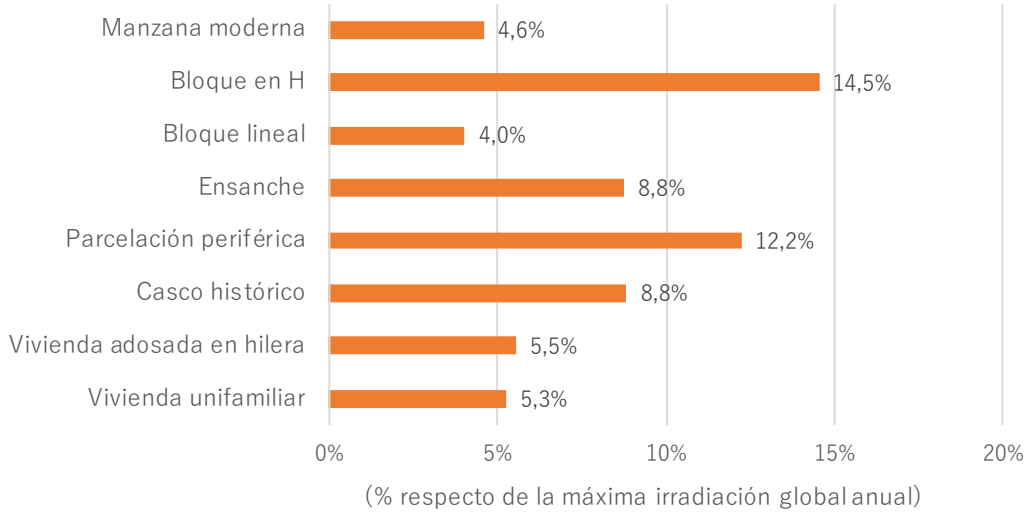
Figura 167. Irradiación global anual sobre superficies "cuasi-óptimas" (orientadas al sur e inclinadas entre 20 y 40º)




Fuente: Elaboración propia.

Como se ha señalado, esta diferencia entre valores máximos y promedios se corresponde con el efecto del tejido urbano, esta reducción se representa en la Figura 168 expresada en % respecto del máximo recurso solar disponible en cada tejido urbano.

Figura 168. Efecto de los tejidos urbanos sobre la máxima Irradiación global anual sobre superficies "cuasi-óptimas"




Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, una reducción del recurso solar sobre las cubiertas de los edificios implica una disminución de la producción de energía útil derivada de su aprovechamiento solar y, en consecuencia, una disminución de la cobertura de necesidades energéticas. Así, en la localidad de

Madrid, en los tres escenarios se mantendrían las coberturas del 60% de la producción de agua caliente sanitaria, y en lo que respecta a las demás coberturas:

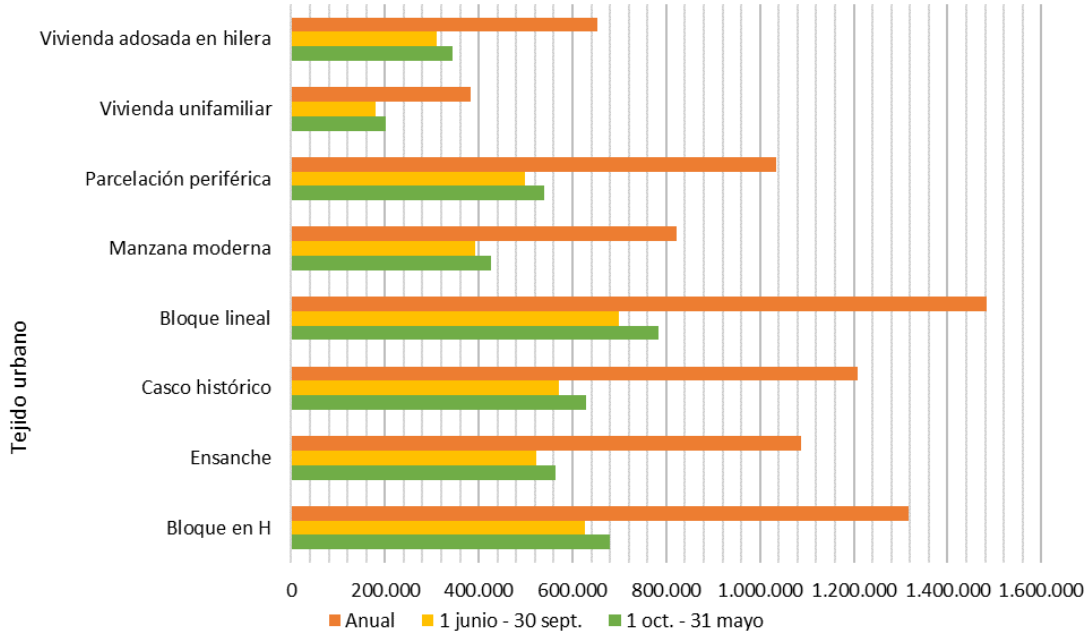
- En los Escenarios 1 y 2, se mantendría la cobertura total de la demanda para iluminación y electrodomésticos, disminuyendo la generación de excedentes.
- En el Escenario 3, se mantendría la cobertura total de la demanda energética en el periodo de refrigeración, disminuyendo la cobertura de la demanda en el periodo de calefacción, así como la generación de excedentes.

En particular, y considerando las tres tipologías de edificios, la reducción de las coberturas de demanda y excedentes estaría en torno al 5% en viviendas unifamiliares, en el entorno del 8-12% en edificios residenciales de hasta 3 plantas, y en el entorno del 5-15% en edificios residenciales de 4 o más plantas.

## 6.2. Efecto de los tejidos urbanos sobre el recurso solar disponible en parcelas

El análisis de la irradiación solar media en cubiertas por superficie de parcela arroja resultados mucho más diferenciados que el análisis anterior, con una variación entre el mayor valor obtenido y el menor del 380%. Esta circunstancia es debida a que en este caso los valores anteriores, de irradiancia por superficie de cubierta, se ven modificados por un factor que depende de la proporción del suelo de parcela ocupada por la edificación. La Figura 169 muestra estas diferencias en los resultados finales:

Figura 169. Histograma de irradiación anual por m$^2$ de superfice de parcela según tipología de tejido urbano (Wh/m$^2$)




Fuente: Elaboración propia

En este caso, los tejidos urbanos con mayores valores de irradiancia solar media en cubierta por superficie de parcela son el Bloque Lineal, el Bloque en H y el Casco Histórico. El análisis muestra cómo en el caso del Bloque Lineal, los edificios ocupan frecuentemente la superifice total de las parcelas. En los planos BL05 y BL06, correspondientes a este caso, se muestra, además, cómo esta tipología no presenta patios de manzana, debido al tamaño de crujía de sus edificios, lo que implica mayor superficie de cubierta por parcela.

Figura 170. Irradiación anual en cubiertas – Tejido urbano: Bloque Lineal

Figura 171. Irradiación anual en cubiertas por parcela – Tejido urbano: Bloque Lineal

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

El análisis del caso del tejido tipo Bloque en H (consultar planos BH05 y BH06 en anexos) muestra resultados similares, salvo que en este caso la tipología edificatoria incluye pequeños patios interiores, que restan superfice de captación solar en cubierta con respecto al total de las parcelas.

Finalmente, el tejido del Casco Histórico presenta también una parcela colmatada por la construcción, con abundancia de pequeños patios interiores. Los menores valores en relación a los casos anteriores se explican por la existencia de estos patios, así como por la complejidad volumétrica de la cubierta del propio tejido y las diferencias de altura entre algunas edificaciones anexas, que provocan que se arrojan sombra entre ellas.

Figura 172. Irradiación anual en cubiertas – Tejido urbano: Bloque Lineal

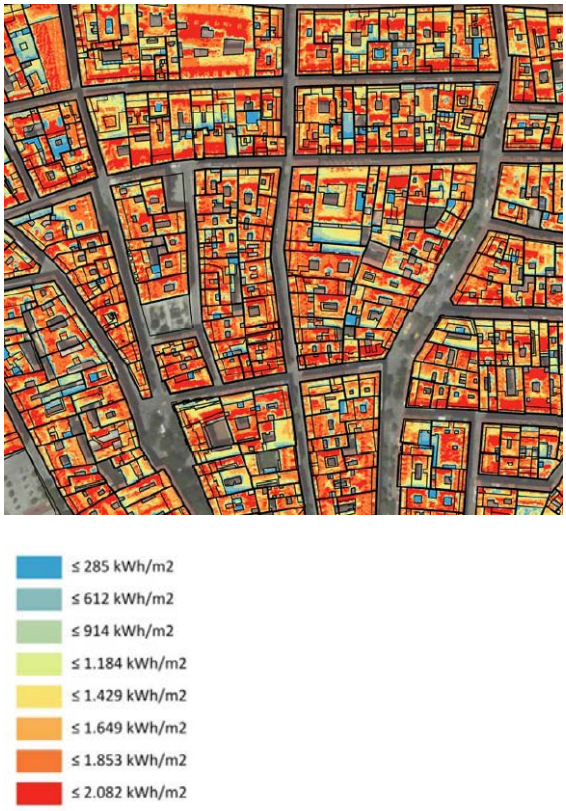



Figura 173. Irradiación anual en cubiertas por parcela – Tejido urbano: Bloque Lineal

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

En cuanto a los tejidos urbanos con menores valores de irradiancia solar media de cubierta por superficie de parcela, se encuentra la tipología de Vivienda Unifamiliar y la Vivienda Adosada en hilera, seguidos, a bastante distancia, por el tejido tipo Manzana Moderna. El análisis de las tres tipologías permite ver que en estos casos la superficie que los edificios ocupan en cada parcela es muy reducida respecto a la superficie total de dicha parcela, a diferencia de los casos anteriores. Pese a que la Manzana Moderna es una tipología de vivienda colectiva, el enorme tamaño de los patios interiores de parcela explica la diferencia y reducción considerable de superficie de captación solar en cubierta en relación a la parcela (ver plano MM05 en anexos)

Figura 174. Irradiación anual en cubiertas – Tejido urbano: Manzana Moderna

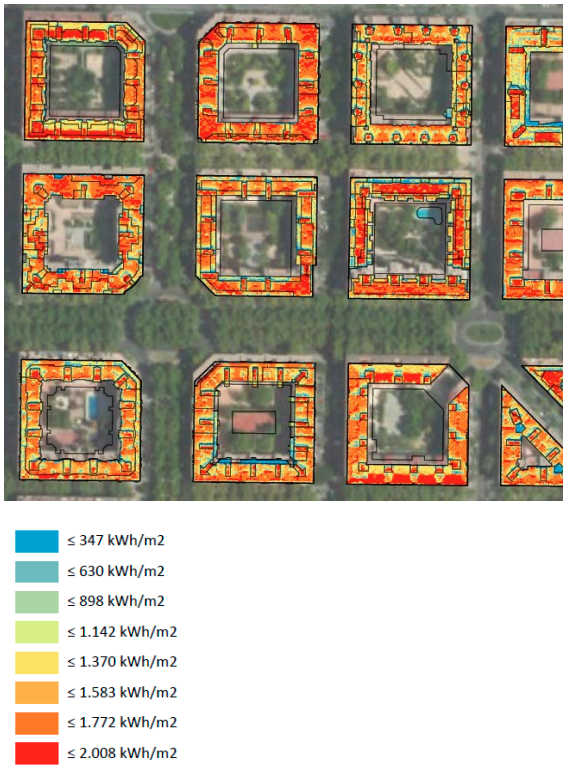
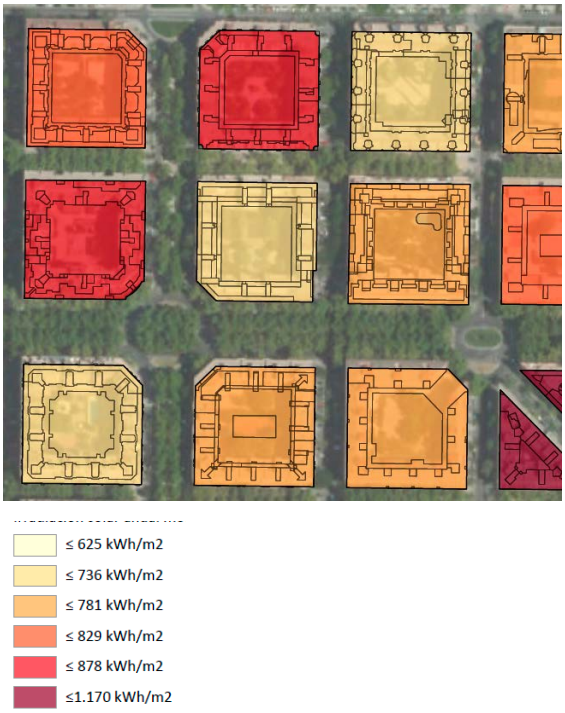



Figura 175. Irradiación anual en cubiertas por parcela – Tejido urbano: Manzana Moderna




Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN y Catastro Virtual

A continuación se ofrece una tabla resumen con los valores de irradiación solar de cubierta por parcela según tejido urbano, para los tres periodos analizados.

Tabla 14. Valor medio de Irradiación por superficie de parcela (kWh/m$^2$) según tejido y periodo del año

| Tipo de tejido | Anual | 1 junio - 30 sept. | 1 oct. - 31 mayo |
|---|---|---|---|
| Bloque en H | 1.316 | 626 | 679 |
| Ensanche | 1.088 | 523 | 563 |
| Casco histórico | 1.207 | 570 | 628 |
| Bloque lineal | 1.484 | 699 | 783 |
| Manzana moderna | 821 | 391 | 425 |
| Parcelación periférica | 1.033 | 498 | 538 |
| Vivienda unifamiliar | 381 | 180 | 200 |
| Vivienda adosada en hilera | 652 | 309 | 343 |

Fuente: Elaboración propia

# 6.3. Efecto de los tejidos urbanos sobre la cobertura de la demanda energética

La reducción en el recurso solar disponible resultante del análisis de los tejidos urbanos implica una reducción de la producción de energía final procedente del aprovechamiento solar de las cubiertas de los edificios por parte de instalaciones solares activas. Esta reducción se aplica a la cobertura de demanda energética de los edificios-tipo de los clústers en los 3 escenarios considerados, según se muestra en las tablas siguientes.

Tabla 15. Escenario 1: cobertura de las necesidades energéticas anuales considerando el efecto de los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes(*) | 321% | 321% | 305% | 288% | 288% |
| | Cc <40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes | 138% | 133% | 124% | 114% | 114% |
| | Bb <40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 85% | 80% | 61% | 68% | 76% |
| Excedentes | 23% | 10% | 6% | 6% | 7% |
| Nota: (*) Excedentes expresados en % respecto de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos. | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Escenario 2: cobertura de las necesidades energéticas anuales considerando el efecto de los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes(*) | 304% | 303% | 287% | 271% | 271% |
| | Cc <40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes | 121% | 117% | 108% | 98% | 98% |
| | Bb <40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 76% | 67% | 49% | 54% | 60% |
| Excedentes | 18% | 8% | 3% | 4% | 5% |
| Nota: (*) Excedentes expresados en % respecto de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos. | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Escenario 3: cobertura de las necesidades energéticas anuales considerando el efecto de los tejidos urbanos de la ciudad de Madrid.

| | Uu <40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción | 81% | 82% | 81% | 92% | 100% |
| Resto del año | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes(*) | 167% | 174% | 167% | 191% | 225% |
| | Cc <40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción | 60% | 61% | 69% | 76% | 85% |
| Resto del año | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Excedentes | 75% | 72% | 75% | 75% | 84% |
| | Bb <40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción | 36% | 34% | 27% | 40% | 52% |
| Resto del año | 100% | 100% | 78% | 100% | 100% |
| Excedentes | 21% | 10% | 5% | 6% | 7% |
| Nota: (*) Excedentes expresados en % respecto de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos. | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

En general, se aprecia que en todos los casos se mantienen las coberturas de las necesidades de agua caliente sanitaria. En lo que respecta al resto de demandas, en los Escenarios 1 y 2 se observa que se mantiene la cobertura total de la demanda para iluminación y electrodomésticos, disminuyendo la generación de excedentes. En el Escenario 3 se mantiene la cobertura total de la demanda energética en el periodo de refrigeración, disminuyendo la cobertura de la demanda en el periodo de calefacción, así como la generación de excedentes.

# 7. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El estudio realizado permite extraer las siguientes conclusiones sobre las posibilidades de aprovechar la energía solar que incide en las cubiertas de los edificios residenciales, para satisfacer las necesidades energéticas de los hogares españoles:

1. Se confirma el excelente recurso solar existente en el territorio nacional representado por las capitales de provincia y ciudades autónomas, así como el interés, para su aprovechamiento en edificios, de considerar cubiertas inclinadas con orientaciones diferentes de la sur (orientación óptima a efectos de maximizar la captación solar anual). Con ello se incrementan las posibilidades de aprovechamiento solar, dada la diversidad del parque edificatorio residencial existente.

2. Del análisis de la energía final esperable del aprovechamiento solar de las cubiertas consideradas (cubiertas planas e inclinadas 30º con distintas orientaciones) mediante instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas se infiere que las cubiertas inclinadas proporcionan una mayor productividad por metro cuadrado que las planas: en particular, y considerando el promedio de las localidades analizadas, un 170% si la orientación es Este-Oeste y un 210% si la orientación es Norte-Sur. Esto es debido al mejor aprovechamiento de las cubiertas inclinadas (donde los captadores solares se pueden disponer paralelos a los paños de cubiertas) que de las planas (donde los captadores solares se disponen en filas paralelas). En la actualidad, el mercado de las instalaciones solares ofrece soluciones desarrolladas específicamente para cubiertas planas e inclinadas, lo que permite un fácil aprovechamiento de su potencial de generación energética.

3. El análisis de la demanda energética de los edificios residenciales realizado a partir de datos oficiales de consumo energético de los hogares españoles en el perido 2010-2017 permite constatar que más del 90% está asociada a usos susceptibles de ser abastecidos por instalaciones solares, en particular: calefacción, agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos (con pesos promedio sobre el consumo total del 43%, 19% y 30% respectivamente).

4. Con el objeto de cuantificar la posible cobertura de tales usos por parte de instalaciones solares situadas en las cubiertas de las 15 tipologías edificatorias (“clústeres”) consideradas en este estudio, se han definido tres escenarios en los que se ha fijado una cobertura del 60% de la demanda energética anual para producción de agua caliente sanitaria. En todos los casos los análisis de cobertura se han realizado en periodos anuales (escenarios 1 y 2) y estacionales (escenario 3, periodos de calefacción y refrigeración), es decir, comparando la demanda con la generación de energía final en los

periodos temporales considerados. Queda fuera del alcance de este estudio la realización de balances energéticos horarios.

- En el primer escenario se plantea el uso compartido de las cubiertas para la producción de agua caliente sanitaria mediante instalaciones solares térmicas y la satisfacción de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos mediante instalaciones solares fotovoltaicas. Se resumen en la tabla siguiente el porcentaje de ocupación de cubiertas y la cobertura de la demanda energética anual de las viviendas obtenidos para las distintas tipologías de edificios (de viviendas unifamiliares, plurifamiliares de 1 a 3 plantas y plurifamiliares de 4 o más plantas) y en el conjunto de localidades analizadas. Como puede apreciarse de los valores promedio, en los edificios de viviendas unifamiliares y plurifamiliares de baja altura se podría cubrir la totalidad de la demanda eléctrica, generándose excedentes eléctricos superiores a la demanda eléctrica de las viviendas. En las viviendas de edificios plurifamiliares de 4 o más alturas se alcanzaría una cobertura promedio próxima al 80% de la demanda eléctrica, y unos excedentes equivalentes al 10% de dicha demanda.

Tabla 18. Escenario 1: resultados de ocupación de cubiertas, cobertura de la demanda energética y generación de excedentes eléctricos

| | Unifamiliar | | Plurifamiliar 1- 3 plantas | | Plurifamiliar ≥4 plantas | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Promedio | Rango | Promedio | Rango | Promedio | Rango |
| % de ocupación de cubiertas | | | | | | |
| Colectores solares térmicos | 5% | 5 - 8% | 9% | 8 - 12% | 20% | 13 - 28% |
| Módulos fotovoltaicos | 95% | 92 - 95% | 91% | 88 - 92% | 80% | 72 - 87% |
| Cobertura de demanda energética | | | | | | |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | 100% | 100% | 100% | 77% | 52 - 95% |
| Excedentes(*) | 300% | 195 - 363% | 127% | 65 – 166% | 10% | 0 – 31% |
| Nota: (*) Excedentes expresados en % respecto de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos. | | | | | | |

- En el segundo escenario se plantea el uso exclusivo de las cubiertas para instalaciones fotovoltaicas, así como una producción de agua caliente sanitaria mediante soluciones tipo termo eléctrico. Como muestra la tabla siguiente, los resultados de cobertura de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos y la generación de excedentes son del mismo orden de magnitud que los del escenario anterior, si bien numéricamente algo inferiores (entre un 7 y un 20%, considerando los resultados promedio).

Tabla 19. Escenario 2: resultados de cobertura de la demanda energética y generación de excedentes eléctricos

| | Unifamiliar | | Plurifamiliar 1- 3 plantas | | Plurifamiliar ≥4 plantas | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cobertura de demanda energética | Promedio | Rango | Promedio | Rango | Promedio | Rango |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Iluminación y electrodomésticos | 100% | 100% | 100% | 100% | 63% | 36 - 87% |
| Excedentes(*) | 280% | 177 - 345% | 110% | 47 – 148% | 7% | 0 – 23% |
| Nota: (*) Excedentes expresados en % respecto de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos. | | | | | | |

- En el tercer y último escenario se plantea de nuevo el uso exclusivo de las cubiertas para instalaciones fotovoltaicas, obteniéndose la producción de agua caliente sanitaria y la calefacción mediante bombas de calor accionadas eléctricamente. Como puede apreciarse de la tabla siguiente, los valores promedio de cobertura de la demanda en el periodo de calefacción están en el entorno del 90%, 80% y 45% en los edificios de viviendas unifamiliares, plurifamiliares de 1-3 plantas y plurifamiliares de mayor altura, respectivamente, El resto del año los valores promedio de cobertura de la demanda energética estarían en torno al 95-100%. En lo que respecta a la generación de excedentes, duplicaría la demanda eléctrica anual para iluminación y electrodomésticos en viviendas unifamiliares, siendo aproximadamente un 90% y 10% en promedio en viviendas de edificios de 1-3 plantas y mayor altura, respectivamente.

Tabla 20. Escenario 3: resultados de cobertura de las necesidades energéticas y generación de excedentes eléctricos

| | Unifamiliar | | Plurifamiliar 1- 3 plantas | | Plurifamiliar ≥4 plantas | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cobertura de demanda energética | Promedio | Rango | Promedio | Rango | Promedio | Rango |
| Agua caliente sanitaria | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Periodo de calefacción(*) | 89% | 54 – 100% | 79% | 41 – 100% | 45% | 19 – 94% |
| Periodo de refrigeración(**) | 100% | 100% | 100% | 100% | 94% | 68 - 100% |
| Excedentes(***) | 200% | 105 - 348% | 88% | 44 – 161% | 9% | 3 – 30% |

Notas:

(*) De octubre a mayo, demanda para calefacción, iluminación y electrodomésticos.

(**) De junio a septiembre, demanda para Iluminación y electrodomésticos.

(***) Excedentes expresados en % respecto de la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos.

5. El cálculo de la captación de energía solar en las cubiertas de los diferentes tejidos urbanos analizados[35] se ha basado en datos obtenidos con la técnica LIDAR (Light Detection And Ranging). Este tipo de datos son de enorme utilidad, ofreciendo nuevas oportunidades de análisis. Sin embargo, presentan también ciertas limitaciones, siendo la más relevante el hecho de que la precisión de los estudios que pueden realizarse está sujeta a la resolución espacial de los datos LIDAR. Para este estudio se han utilizado los datos LIDAR ofrecidos por el Instituto Geográfico Nacional, cuya resolución en términos de distancia entre puntos, para el ámbito espacial analizado, varía de pocos centímetros hasta 1,2 metros. Esta precisión permite ofrecer resultados aceptables a nivel de tejido, pero para un análisis a la escala de edificio sería recomendable una resolución superior.

6. El análisis de los valores de irradiación media anual de cada uno de los tejidos analizados revela diferencias significativas, con una variación entre el valor máximo y mínimo obtenido en torno a un 20%. Estas diferencias se deben a las distintas tipologías de los edificios y sus cubiertas en cada uno de los tejidos. A lo que se añaden las características propias de las cubiertas, como los ángulos de inclinación y su orientación. Las más relevantes son los

[35] Como se ha comentado anteriormente los casos de estudio seleccionados se ubican en la ciudad de Madrid.

cambios de altura entre edificaciones colindantes, que provocan que unos edificios arrojen sombra sobre otros, y una mayor o menor presencia de volúmenes salientes en cubierta (como casetones de ascensor, chimeneas, instalaciones, petos, etc.) que incrementan la superficie de sombras arrojadas sobre la propia cubierta.

7. El análisis de los valores de irradiación media de cada uno de los tejidos, atendiendo a los dos periodos del año estudiados (calefacción y refrigeración) revela, en primer lugar, que los valores de irradiación acumulados en cada uno de los periodos son similares, aún cuando el periodo de calefacción (1 de octubre al 31 de mayo) cubre tan sólo 8 meses y el periodo de refrigeración (1 de junio al 30 de septiembre) cubre 4 meses. Aunque esta circunstancia es conocida, ya que la diferencia es consecuencia de la variación de la posición del sol a lo largo del año, se han podido cuantificar de forma más precisa estos valores para cada uno de los tejidos estudiados. El mismo análisis revela que la diferencia entre los valores de irradiación entre tejidos es ligeramente superior a la media anual en el periodo de octubre a mayo (21,5%) que en el periodo de junio a septiembre (18,0%).

8. Los tejidos urbanos con valores más elevados de irradiación anual son los de Vivienda Unifamiliar (VU), Bloque en H (BH) y Bloque Lineal (BL). Las características comunes de las cubiertas de los edificios de estos tejidos urbanos son la menor cantidad de elementos sobresalientes en cubierta. Sin embargo, los tejidos urbanos con valores menos elevados son los de Ensanche, Parcelación Periférica y Manzana Moderna, tejidos que presentan cubiertas con una gran complejidad volumétrica y abundante presencia de elementos sobresalientes (casetones de ascensor o de instalaciones, chimeneas, mansardas, construcciones en cubierta o pequeñas terrazas y petos), que aumentan la superficie de cubierta que recibe sombras arrojadas a lo largo del día y reduce, por tanto, las posibilidades de captación de la radiación solar. A ello se suma, también, la diferencia de altura de las distintas cubiertas, que produce sombra de unos edificios sobre otros.

9. El análisis comparativo de la variación de la irradiación solar media en cubiertas por superficie de parcela arroja resultados mucho más diferenciados que el análisis anterior, con una variación entre el mayor valor obtenido y el menor del 380%. Esta circunstancia es debida a que en este caso los valores anteriores de irradiación por superficie de cubierta se ven modificados por un factor que depende de la proporción de la superficie de parcela ocupada por la edificación. En este caso, los tejidos urbanos analizados con mayores valores son el de Bloque Lineal, el Bloque en H y el Casco histórico, casos en los que los edificios ocupan frecuentemente la superficie total de las parcelas, mientras que los tejidos urbanos con menores valores de irradiación solar media de cubierta por superficie de parcela son la tipología de Vivienda Unifamiliar y Vivienda Adosada en Hilera seguidos, a bastante distancia, por la Manzana Moderna. En estos casos la superficie que los edificios ocupan en cada parcela es muy reducida respecto a la superficie total.

10. Del análisis del recurso solar disponible en las cubiertas de edificios situados en tejidos urbanos representativos de la ciudad de Madrid se ha inferido una reducción de las coberturas de demanda energética y generación de excedentes del 5-6% en viviendas unifamiliares, del 8-12% en edificios de viviendas plurifamiliares de 1 a 3 plantas, y del 5-15% en edificios de viviendas plurifamiliares de 4 o más plantas. Conviene aclarar que, dado el alcance del estudio realizado, no se puede afirmar que estos resultados sean representativos de otros contextos urbanos presentes en la geografía española.

11. Se puede concluir, por tanto, el excelente potencial que presentan las cubiertas de los edificios representativos del parque residencial español para satisfacer sus necesidades energéticas principales desde una perspectiva anual neta, es decir, comparando la demanda con la generación esperable de energía final resultado de aprovechar el potencial existente mediante instalaciones solares activas. En este sentido, los resultados numéricos presentados difieren de los que se obtendrían de la realización de balances horarios entre demanda y generación, dadas las diferencias entre los perfiles temporales de demanda de edificios residenciales y los de generación procedente de instalaciones solares. A este respecto, conviene resaltar la ventaja que presentan para los edificios de viviendas plurifamiliares las instalaciones fotovoltaicas de uso compartido frente a las individuales, ya que la agregación de perfiles de demanda reduce la variabilidad y, por tanto, permite un mejor aprovechamiento de la electricidad producida por las instalaciones. Del mismo modo, el uso de técnicas de Gestión de la demanda orientadas a desplazar consumos a horas de generación solar tendría efectos positivos en la cobertura de la demanda agregada. Por último, conviene mencionar que la incorporación de sistemas de almacenamiento fijos o móviles (Vehículos Eléctricos) que almacenen excedentes de producción y con los que abastecer demandas diferidas permitirían una gestión eficiente e integrada de la generación y el consumo eléctricos de los edificios.

Aunque el estudio de potencial solar de las ciudades españolas se ha realizado exclusivamente para las cubiertas de los edificios residenciales del parque de viviendas, cabe destacar la enorme oportunidad que ofrecen también otros elementos de la envolvente de los edificios, como son las fachadas. Estas permiten, además de la colocación de elementos de aprovechamiento solar activo especialmente diseñados para fachadas, la incorporación de estrategias de diseño pasivo, relacionadas principalmente con la relación ancho de calle-altura de edificio, el tamaño y ubicación de los huecos en fachada, así como con los tipos de vidrios y protecciones solares, que se puedan incorporar para mejorar su eficacia y comportamiento a lo largo del año. Dada la diversidad de situaciones en los contextos urbanos españoles es fundamental la realización de estudios específicos.

Por último es necesario resaltar el papel que puede representar la generación de energía, tanto solar térmica como fotovoltaica, en el parque de viviendas existente para caminar hacia una transición energética justa. Según los últimos datos que se recogen en la ERESEE, en España en 2017 había 4.311.013 de hogares en riesgo de sufrir pobreza energética. La rehabilitación de viviendas mediante estrategias pasivas para la reducción de la necesidades energéticas de estos hogares resulta fundamental para disminuir las tasas de pobreza energética. La incorporación de

medidas de generación de energía es una estrategia complementaria y necesaria para cubrir la demanda de energía de las viviendas y reducir así la dependencia de fuentes de energía no renovables.

# REFERENCIAS


Agencia Estatal de Meteorología, ""Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT", 2012.
https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, 2011. "Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final".
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, 2018. "Consumos de energía final por usos del sector residencial. Años 2010 a 2017".
https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas

Ministerio de Fomento, 2014. "Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE".
http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/39711141-E3BB-49C4-A759-4F5C6B987766/130069/2014_article4_es_spain.pdf

Ministerio de Fomento, 2017. "ERESEE 2017 – Actualización 2017 – De la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España".
https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/24003A4D-449E-4B93-8CA5-7217CFC61802/143398/20170524REVISIONESTRATEGIA.pdf

Ministerio de Fomento, 2019. – Inédito - "Segmentación del parque residencial de viviendas en España en clústeres tipológicos". Estudio (01) para la ERSEE 2020 Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España.

Neila González, F.J.; Sánchez-Guevara, C.; Núñez Peiro, M.; Román, E.; López, H.; Gómez, G.; De Luxán, M. 2020. Isla de calor, clima urbano y consumo energético de edificios. Proyecto modifica. García-Marotio Editores.

Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-17599

Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10927

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089.pdf

Richard Perez, Robert Seals, "A new simplifed version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces". Revista "Solar Energy", vol. 39 (3), 1987.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X87800312

ESRI – Radiación solar de áreas [En línea] Disponible en:
https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/area-solar-radiation.htm
[Fecha de consulta: 8 de abril de 2019]

Instituto Geográfico Nacional. Modelos Digitales de Elevaciones - MAPA LIDAR [En línea]
Disponible en: http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp [Fecha de consulta:
15 de enero de 2019]

Proyecto MODIFICA, Modelo predictivo del comportamiento de edificios de vivienda bajo los efectos de la isla de calor de Madrid [En línea] Disponible en: http://abio-upm.org/project/modifica/ [Fecha de consulta: 14 de enero de 2019]

Sede Electrónica del Catastro [En línea] Disponible en: http://www.sedecatastro.gob.es/ [Fecha de consulta: 22 de enero de 2019]

# ANEXO I

# I.a. Promedios diarios de irradiación global mensual sobre superficies horizontales e inclinades

Se muestran en las tablas siguientes los promedios diarios de irradiación global mensual y los valores de irradiación global anual incidente sobre superficies determinadas y para distintas provincias y ciudades autónomas, de acuerdo a la siguiente nomenclatura:

- $G_{dm}$ (0): Promedio diario de irradiación global mensual sobre superficie horizontal.
- $G_{dm}$ (0, 30º): Promedio diario de irradiación global mensual sobre superficie orientada al sur e inclinada 30º respecto del plano horizontal
- $G_{dm}$ (±90º, 30º): Promedio diario de irradiación global mensual sobre superficie orientada al este u oeste (+90º y -90º respectivamente) e inclinada 30º respecto del plano horizontal.
- $G_a$ (0): Irradiación global anual sobre plano horizontal.
- $G_a$ (0, 30º): Irradiación global anual sobre superficie orientada al sur e inclinada 30º respecto del plano horizontal
- $G_{dm}$ (±90º, 30º): Irradiación global anual sobre superficie orientada al este u oeste (+90º y -90º respectivamente) e inclinada 30º respecto del plano horizontal.

En todos los casos las unidades son kWh/m$^2$.

Tabla Ia.1.1: Irradiación global sobre superficie horizontal.

| | | $G_a(0)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(0)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| A Coruña | 43,36 | 1,600 | 2,340 | 3,620 | 4,620 | 5,640 | 6,360 | 6,300 | 5,710 | 4,390 | 2,710 | 1,740 | 1,340 | 1.413 |
| Álava | 41,85 | 1,560 | 2,320 | 3,580 | 4,460 | 5,400 | 6,110 | 6,280 | 5,490 | 4,370 | 2,830 | 1,790 | 1,380 | 1.389 |
| Albacete | 42,85 | 2,490 | 3,390 | 4,720 | 5,970 | 6,650 | 7,650 | 7,960 | 6,910 | 5,510 | 3,750 | 2,640 | 2,110 | 1.820 |
| Alicante | 39 | 2,610 | 3,490 | 4,700 | 6,130 | 6,920 | 7,650 | 7,730 | 6,820 | 5,450 | 3,990 | 2,810 | 2,270 | 1.840 |
| Almería | 38,28 | 2,840 | 3,720 | 4,930 | 6,520 | 7,210 | 7,940 | 7,890 | 7,020 | 5,710 | 4,150 | 3,020 | 2,460 | 1.931 |
| Ávila | 36,84 | 2,130 | 3,060 | 4,440 | 5,450 | 6,150 | 7,310 | 7,720 | 6,660 | 5,170 | 3,370 | 2,290 | 1,810 | 1.693 |
| Badajoz | 40,66 | 2,430 | 3,340 | 4,800 | 5,840 | 6,800 | 7,840 | 8,060 | 7,120 | 5,610 | 3,790 | 2,630 | 1,980 | 1.836 |
| Barcelona | 38,88 | 2,180 | 3,140 | 4,340 | 5,690 | 6,470 | 7,100 | 7,330 | 6,120 | 4,780 | 3,330 | 2,310 | 1,910 | 1.666 |
| Bizkaia | 41,38 | 1,560 | 2,230 | 3,430 | 4,300 | 5,170 | 5,550 | 5,490 | 4,870 | 4,080 | 2,720 | 1,700 | 1,380 | 1.295 |
| Burgos | 43,3 | 1,690 | 2,550 | 4,080 | 4,960 | 6,040 | 7,220 | 7,420 | 6,440 | 4,960 | 3,050 | 1,920 | 1,450 | 1.578 |
| Cáceres | 42,34 | 2,390 | 3,340 | 4,790 | 5,860 | 6,820 | 7,810 | 8,080 | 7,070 | 5,540 | 3,660 | 2,560 | 1,980 | 1.825 |
| Cádiz | 39,47 | 2,770 | 3,710 | 5,030 | 6,370 | 7,290 | 7,900 | 7,960 | 7,110 | 5,800 | 4,130 | 2,960 | 2,380 | 1.932 |
| Castellón | 36,53 | 2,430 | 3,340 | 4,530 | 5,880 | 6,520 | 7,240 | 7,480 | 6,380 | 5,030 | 3,630 | 2,550 | 2,080 | 1.739 |
| Ceuta | 39,99 | 2,570 | 3,310 | 4,410 | 5,970 | 6,740 | 7,640 | 7,610 | 6,720 | 5,380 | 3,690 | 2,680 | 2,150 | 1.793 |
| Ciudad Real | 35,89 | 2,360 | 3,390 | 4,850 | 5,920 | 6,700 | 7,810 | 8,090 | 7,130 | 5,620 | 3,800 | 2,610 | 2,010 | 1.837 |
| Córdoba | 38,99 | 2,620 | 3,530 | 4,910 | 5,920 | 6,760 | 7,850 | 8,120 | 7,190 | 5,700 | 3,880 | 2,790 | 2,230 | 1.874 |
| Cuenca | 37,88 | 2,240 | 3,180 | 4,490 | 5,400 | 6,260 | 7,440 | 7,850 | 6,830 | 5,300 | 3,450 | 2,380 | 1,900 | 1.728 |
| Girona | 40,08 | 2,140 | 3,040 | 4,270 | 5,290 | 5,990 | 6,560 | 7,030 | 5,930 | 4,710 | 3,250 | 2,270 | 1,860 | 1.595 |
| Granada | 42,32 | 2,770 | 3,640 | 4,920 | 5,980 | 6,880 | 7,900 | 8,070 | 7,180 | 5,730 | 4,050 | 2,920 | 2,370 | 1.901 |
| Guadalajara | 41,98 | 2,200 | 3,170 | 4,580 | 5,660 | 6,540 | 7,700 | 7,950 | 6,960 | 5,410 | 3,520 | 2,340 | 1,850 | 1.764 |
| Huelva | 37,18 | 2,690 | 3,630 | 4,970 | 6,120 | 7,010 | 7,920 | 8,070 | 7,200 | 5,780 | 4,040 | 2,920 | 2,280 | 1.908 |
| Huesca | 40,63 | 2,060 | 3,250 | 4,670 | 5,820 | 6,680 | 7,480 | 7,690 | 6,580 | 5,240 | 3,470 | 2,330 | 1,790 | 1.738 |

| | | $G_a(0)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(0)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| Jaén | 37,26 | 2,680 | 3,570 | 4,940 | 6,060 | 6,860 | 7,950 | 8,120 | 7,180 | 5,690 | 3,950 | 2,820 | 2,290 | 1.892 |
| Las Palmas | 42,14 | 3,500 | 4,140 | 5,030 | 5,950 | 6,510 | 6,220 | 6,060 | 6,050 | 5,640 | 4,700 | 3,710 | 3,240 | 1.849 |
| León | 39,57 | 1,860 | 2,860 | 4,280 | 5,350 | 6,210 | 7,390 | 7,580 | 6,570 | 4,990 | 3,130 | 2,090 | 1,560 | 1.642 |
| Lleida | 37,77 | 1,980 | 3,250 | 4,730 | 6,030 | 6,810 | 7,600 | 7,720 | 6,610 | 5,290 | 3,550 | 2,290 | 1,640 | 1.752 |
| Logroño | 28,1 | 1,770 | 2,660 | 4,070 | 4,980 | 5,850 | 6,800 | 7,050 | 6,130 | 4,760 | 3,070 | 1,970 | 1,540 | 1.544 |
| Lugo | 42,6 | 1,650 | 2,370 | 3,640 | 4,490 | 5,320 | 6,270 | 6,330 | 5,710 | 4,350 | 2,710 | 1,790 | 1,400 | 1.403 |
| Madrid | 41,62 | 2,270 | 3,250 | 4,650 | 5,750 | 6,600 | 7,740 | 8,040 | 7,000 | 5,470 | 3,560 | 2,430 | 1,870 | 1.786 |
| Málaga | 42,47 | 2,780 | 3,600 | 4,850 | 6,150 | 7,000 | 7,870 | 7,970 | 7,050 | 5,760 | 4,070 | 2,920 | 2,360 | 1.900 |
| Melilla | 43,01 | 2,860 | 3,700 | 4,820 | 6,320 | 6,760 | 7,290 | 7,350 | 6,660 | 5,550 | 4,130 | 3,040 | 2,570 | 1.859 |
| Murcia | 40,45 | 2,720 | 3,600 | 4,800 | 6,290 | 6,960 | 7,730 | 7,890 | 6,870 | 5,510 | 3,990 | 2,880 | 2,350 | 1.876 |
| Ourense | 36,72 | 1,740 | 2,560 | 3,820 | 4,720 | 5,690 | 6,800 | 6,960 | 6,180 | 4,660 | 2,870 | 1,840 | 1,440 | 1.502 |
| Oviedo | 35,29 | 1,770 | 2,430 | 3,600 | 4,460 | 4,990 | 5,340 | 5,290 | 4,800 | 4,100 | 2,740 | 1,870 | 1,490 | 1.306 |
| Palencia | 37,98 | 1,890 | 2,960 | 4,440 | 5,460 | 6,380 | 7,510 | 7,720 | 6,740 | 5,190 | 3,290 | 2,140 | 1,610 | 1.686 |
| Ilhes Balears | 42,81 | 2,320 | 3,130 | 4,460 | 5,860 | 6,680 | 7,510 | 7,580 | 6,630 | 4,980 | 3,600 | 2,500 | 2,050 | 1.746 |
| Navarra | 42,34 | 1,620 | 2,490 | 3,800 | 4,580 | 5,660 | 6,620 | 6,860 | 5,950 | 4,600 | 2,960 | 1,870 | 1,470 | 1.478 |
| Pontevedra | 43,36 | 1,740 | 2,530 | 3,820 | 4,760 | 5,770 | 6,730 | 6,760 | 6,050 | 4,640 | 2,900 | 1,880 | 1,440 | 1.494 |
| Salamanca | 42,01 | 2,080 | 3,090 | 4,490 | 5,560 | 6,440 | 7,600 | 7,820 | 6,840 | 5,270 | 3,430 | 2,280 | 1,780 | 1.727 |
| Gipuzkoa | 42,43 | 1,530 | 2,220 | 3,490 | 4,390 | 5,180 | 5,620 | 5,590 | 4,930 | 4,110 | 2,590 | 1,660 | 1,330 | 1.299 |
| Santa Cruz de Tenerife | 40,97 | 3,470 | 4,220 | 5,040 | 6,110 | 6,590 | 7,220 | 7,600 | 7,020 | 5,900 | 4,790 | 3,700 | 3,170 | 1.974 |
| Santander | 43,46 | 1,600 | 2,340 | 3,600 | 4,600 | 5,330 | 5,800 | 5,710 | 5,040 | 4,180 | 2,690 | 1,690 | 1,360 | 1.339 |
| Segovia | 40,95 | 2,000 | 2,900 | 4,320 | 5,260 | 6,090 | 7,300 | 7,700 | 6,670 | 5,150 | 3,290 | 2,160 | 1,720 | 1.663 |
| Sevilla | 37,39 | 2,720 | 3,660 | 5,030 | 6,140 | 6,990 | 7,880 | 8,100 | 7,200 | 5,780 | 4,020 | 2,920 | 2,330 | 1.912 |
| Soria | 41,73 | 1,960 | 2,920 | 4,330 | 5,270 | 6,120 | 7,150 | 7,480 | 6,430 | 4,980 | 3,230 | 2,160 | 1,720 | 1.638 |
| Tarragona | 28,04 | 2,260 | 3,250 | 4,460 | 5,760 | 6,510 | 7,260 | 7,440 | 6,140 | 4,870 | 3,420 | 2,410 | 1,980 | 1.699 |

| | | $G_a(0)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(0)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| Teruel | 41,12 | 2,310 | 3,270 | 4,560 | 5,630 | 6,390 | 7,270 | 7,590 | 6,540 | 5,220 | 3,570 | 2,440 | 1,930 | 1.728 |
| Toledo | 40,34 | 2,380 | 3,350 | 4,810 | 5,940 | 6,710 | 7,850 | 8,090 | 7,080 | 5,570 | 3,720 | 2,550 | 1,950 | 1.828 |
| Valencia | 39,88 | 2,520 | 3,400 | 4,680 | 6,070 | 6,780 | 7,480 | 7,680 | 6,620 | 5,280 | 3,780 | 2,670 | 2,130 | 1.800 |
| Valladolid | 39,48 | 1,920 | 3,010 | 4,470 | 5,530 | 6,480 | 7,550 | 7,750 | 6,790 | 5,260 | 3,360 | 2,180 | 1,640 | 1.705 |
| Zamora | 41,5 | 1,930 | 3,060 | 4,530 | 5,600 | 6,530 | 7,670 | 7,800 | 6,850 | 5,240 | 3,390 | 2,210 | 1,670 | 1.721 |
| Zaragoza | 41,67 | 2,050 | 3,210 | 4,660 | 5,820 | 6,750 | 7,560 | 7,760 | 6,640 | 5,250 | 3,520 | 2,350 | 1,790 | 1.748 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia.

Tabla Ia.1.2: Irradiación global sobre superficie orientada al sur e inclinada 30º.

| | | $G_a(0, 30º)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(0, 30º)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| A Coruña | 43,36 | 2,978 | 3,616 | 4,795 | 5,252 | 5,805 | 6,245 | 6,314 | 6,265 | 5,543 | 3,957 | 3,052 | 2,686 | 2.046 |
| Álava | 41,85 | 2,877 | 3,597 | 4,732 | 5,057 | 5,541 | 5,989 | 6,283 | 5,982 | 5,494 | 4,191 | 3,170 | 2,595 | 1.690 |
| Albacete | 42,85 | 4,412 | 5,148 | 6,115 | 6,641 | 6,644 | 7,257 | 7,693 | 7,322 | 6,730 | 5,345 | 4,501 | 3,928 | 2.192 |
| Alicante | 39 | 4,584 | 5,252 | 6,024 | 6,781 | 6,870 | 7,221 | 7,445 | 7,185 | 6,607 | 5,667 | 4,768 | 3,871 | 2.048 |
| Almería | 38,28 | 4,894 | 5,503 | 6,239 | 7,138 | 7,074 | 7,402 | 7,514 | 7,314 | 6,845 | 5,790 | 5,010 | 4,444 | 1.596 |
| Ávila | 36,84 | 3,881 | 4,715 | 5,814 | 6,105 | 6,216 | 7,026 | 7,556 | 7,155 | 6,411 | 4,891 | 3,974 | 3,455 | 1.900 |
| Badajoz | 40,66 | 4,324 | 5,074 | 6,201 | 6,488 | 6,786 | 7,413 | 7,766 | 7,546 | 6,869 | 5,417 | 4,479 | 3,639 | 2.191 |
| Barcelona | 38,88 | 4,082 | 4,974 | 5,745 | 6,454 | 6,578 | 6,866 | 7,224 | 6,604 | 5,935 | 4,878 | 4,127 | 3,821 | 2.139 |
| Bizkaia | 41,38 | 2,948 | 3,526 | 4,524 | 4,892 | 5,326 | 5,468 | 5,512 | 5,307 | 5,147 | 4,051 | 3,049 | 2,681 | 2.123 |
| Burgos | 43,3 | 3,077 | 3,968 | 5,413 | 5,612 | 6,167 | 7,019 | 7,357 | 7,008 | 6,236 | 4,496 | 3,351 | 2,689 | 2.080 |
| Cáceres | 42,34 | 4,322 | 5,125 | 6,222 | 6,538 | 6,831 | 7,420 | 7,819 | 7,525 | 6,816 | 5,264 | 4,394 | 3,699 | 2.193 |
| Cádiz | 39,47 | 3,971 | 4,831 | 5,936 | 6,707 | 7,097 | 7,399 | 7,580 | 7,298 | 6,642 | 5,218 | 4,124 | 3,467 | 2.193 |
| Castellón | 36,53 | 4,472 | 5,199 | 5,927 | 6,597 | 6,560 | 6,930 | 7,300 | 6,812 | 6,180 | 5,253 | 4,478 | 4,050 | 2.086 |
| Ceuta | 39,99 | 4,281 | 4,770 | 5,468 | 6,482 | 6,584 | 7,094 | 7,213 | 6,952 | 6,372 | 5,105 | 4,293 | 3,719 | 1.975 |
| Ciudad Real | 35,89 | 4,163 | 5,147 | 6,278 | 6,580 | 6,692 | 7,400 | 7,811 | 7,557 | 6,870 | 5,423 | 4,438 | 3,702 | 2.257 |
| Córdoba | 38,99 | 4,163 | 5,147 | 6,278 | 6,580 | 6,692 | 7,400 | 7,811 | 7,557 | 6,870 | 5,423 | 4,438 | 3,702 | 2.135 |
| Cuenca | 37,88 | 4,080 | 4,904 | 5,866 | 6,054 | 6,300 | 7,118 | 7,648 | 7,298 | 6,529 | 4,967 | 4,136 | 3,640 | 2.259 |
| Girona | 40,08 | 4,066 | 4,855 | 5,694 | 6,028 | 6,110 | 6,379 | 6,969 | 6,432 | 5,881 | 4,798 | 4,103 | 3,586 | 2.137 |
| Granada | 42,32 | 4,820 | 5,418 | 6,257 | 6,560 | 6,780 | 7,386 | 7,696 | 7,498 | 6,894 | 5,670 | 4,865 | 4,315 | 2.248 |
| Guadalajara | 41,98 | 4,059 | 4,927 | 6,025 | 6,374 | 6,612 | 7,381 | 7,768 | 7,474 | 6,715 | 5,124 | 4,107 | 3,575 | 2.058 |
| Huelva | 37,18 | 4,674 | 5,394 | 6,300 | 6,712 | 6,906 | 7,401 | 7,688 | 7,530 | 6,971 | 5,667 | 4,867 | 4,128 | 2.003 |
| Huesca | 40,63 | 3,886 | 5,226 | 6,263 | 6,641 | 6,820 | 7,255 | 7,606 | 7,144 | 6,594 | 5,167 | 4,230 | 3,399 | 2.046 |
| Jaén | 37,26 | 4,680 | 5,334 | 6,313 | 6,672 | 6,787 | 7,463 | 7,775 | 7,533 | 6,875 | 5,548 | 4,722 | 4,176 | 2.192 |

| | | $G_a(0, 30º)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(0, 30º)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| Las Palmas | 42,14 | 5,089 | 5,340 | 5,736 | 6,064 | 6,012 | 5,552 | 5,511 | 5,901 | 6,204 | 6,007 | 5,305 | 4,930 | 2.048 |
| León | 39,57 | 3,517 | 4,553 | 5,719 | 6,112 | 6,353 | 7,194 | 7,521 | 7,166 | 6,299 | 4,662 | 3,745 | 2,970 | 1.596 |
| Lleida | 37,77 | 3,674 | 5,183 | 6,315 | 6,862 | 6,924 | 7,341 | 7,607 | 7,147 | 6,629 | 5,249 | 4,093 | 3,181 | 2.136 |
| Logroño | 28,1 | 3,275 | 4,175 | 5,420 | 5,648 | 5,982 | 6,632 | 7,006 | 6,680 | 5,985 | 4,551 | 3,499 | 2,892 | 1.880 |
| Lugo | 42,6 | 3,048 | 3,672 | 4,804 | 5,077 | 5,466 | 6,147 | 6,329 | 6,249 | 5,478 | 3,944 | 3,101 | 2,615 | 1.703 |
| Madrid | 41,62 | 4,179 | 5,050 | 6,109 | 6,465 | 6,663 | 7,406 | 7,841 | 7,507 | 6,784 | 5,173 | 4,261 | 3,596 | 2.162 |
| Málaga | 42,47 | 4,778 | 5,298 | 6,120 | 6,722 | 6,869 | 7,332 | 7,577 | 7,338 | 6,902 | 5,677 | 4,828 | 4,243 | 2.243 |
| Melilla | 43,01 | 4,798 | 5,368 | 6,016 | 6,834 | 6,574 | 6,747 | 6,943 | 6,861 | 6,553 | 5,734 | 4,915 | 4,539 | 2.187 |
| Murcia | 40,45 | 4,797 | 5,432 | 6,151 | 6,945 | 6,894 | 7,281 | 7,579 | 7,220 | 6,660 | 5,634 | 4,871 | 4,370 | 2.247 |
| Ourense | 36,72 | 3,202 | 3,995 | 5,072 | 5,330 | 5,818 | 6,625 | 6,915 | 6,732 | 5,857 | 4,215 | 3,190 | 2,643 | 1.814 |
| Oviedo | 35,29 | 3,386 | 3,833 | 4,741 | 5,069 | 5,147 | 5,271 | 5,316 | 5,227 | 5,168 | 4,065 | 3,359 | 2,883 | 1.627 |
| Palencia | 37,98 | 3,466 | 4,639 | 5,895 | 6,206 | 6,498 | 7,276 | 7,628 | 7,319 | 6,519 | 4,855 | 3,766 | 2,979 | 2.041 |
| Ilhes Balears | 42,81 | 4,115 | 4,745 | 5,771 | 6,545 | 6,693 | 7,158 | 7,373 | 7,056 | 6,070 | 5,121 | 4,258 | 3,872 | 2.094 |
| Navarra | 42,34 | 2,980 | 3,922 | 5,065 | 5,190 | 5,805 | 6,475 | 6,841 | 6,494 | 5,791 | 4,388 | 3,332 | 2,774 | 1.798 |
| Pontevedra | 43,36 | 2,978 | 3,616 | 4,795 | 5,252 | 5,805 | 6,245 | 6,314 | 6,265 | 5,543 | 3,957 | 3,052 | 2,686 | 1.721 |
| Salamanca | 42,01 | 3,774 | 4,782 | 5,894 | 6,268 | 6,520 | 7,306 | 7,664 | 7,369 | 6,557 | 5,003 | 3,949 | 3,394 | 2.084 |
| Gipuzkoa | 42,43 | 2,883 | 3,520 | 4,635 | 5,000 | 5,336 | 5,535 | 5,608 | 5,373 | 5,192 | 3,816 | 2,959 | 2,549 | 1.595 |
| Santa Cruz de Tenerife | 40,97 | 5,051 | 5,497 | 5,762 | 6,233 | 6,079 | 6,359 | 6,785 | 6,830 | 6,535 | 6,151 | 5,304 | 4,824 | 2.173 |
| Santander | 43,46 | 3,020 | 3,696 | 4,777 | 5,241 | 5,492 | 5,713 | 5,732 | 5,497 | 5,282 | 3,994 | 3,014 | 2,600 | 1.645 |
| Segovia | 40,95 | 3,630 | 4,477 | 5,677 | 5,908 | 6,168 | 7,030 | 7,553 | 7,181 | 6,404 | 4,789 | 3,755 | 3,312 | 2.006 |
| Sevilla | 37,39 | 4,756 | 5,461 | 6,402 | 6,743 | 6,895 | 7,374 | 7,726 | 7,537 | 6,976 | 5,647 | 4,888 | 4,246 | 2.272 |
| Soria | 41,73 | 3,627 | 4,564 | 5,735 | 5,956 | 6,224 | 6,928 | 7,385 | 6,963 | 6,227 | 4,741 | 3,818 | 3,383 | 1.995 |
| Tarragona | 28,04 | 4,218 | 5,138 | 5,903 | 6,522 | 6,601 | 7,002 | 7,316 | 6,603 | 6,035 | 4,994 | 4,289 | 3,954 | 2.087 |
| Teruel | 41,12 | 4,200 | 5,058 | 5,970 | 6,325 | 6,438 | 6,973 | 7,418 | 7,005 | 6,446 | 5,171 | 4,246 | 3,693 | 2.098 |
| Toledo | 40,34 | 4,310 | 5,173 | 6,285 | 6,651 | 6,744 | 7,480 | 7,857 | 7,559 | 6,876 | 5,376 | 4,420 | 3,675 | 2.204 |

| | | $G_a(0, 30º)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(0, 30º)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| Valencia | 39,88 | 4,598 | 5,257 | 6,107 | 6,790 | 6,792 | 7,125 | 7,458 | 7,043 | 6,478 | 5,459 | 4,665 | 4,109 | 2.187 |
| Valladolid | 39,48 | 3,505 | 4,694 | 5,911 | 6,270 | 6,589 | 7,294 | 7,637 | 7,353 | 6,583 | 4,946 | 3,821 | 3,149 | 2.062 |
| Zamora | 41,5 | 3,507 | 4,773 | 5,981 | 6,343 | 6,632 | 7,396 | 7,674 | 7,410 | 6,551 | 4,979 | 3,856 | 3,188 | 2.079 |
| Zaragoza | 41,67 | 3,826 | 5,110 | 6,217 | 6,617 | 6,867 | 7,302 | 7,644 | 7,187 | 6,581 | 5,216 | 4,230 | 3,554 | 2.141 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia.

Tabla Ia.1.3: Irradiación global sobre superficie orientada al este u oeste e inclinada 30º.

| | | $G_a(\pm 90º, 30º)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(\pm 90º, 30º)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| A Coruña | 43,36 | 1,690 | 2,331 | 3,579 | 4,537 | 5,422 | 6,208 | 6,013 | 5,568 | 4,272 | 2,650 | 1,777 | 1,399 | 1.385 |
| Álava | 41,85 | 1,645 | 2,315 | 3,546 | 4,384 | 5,192 | 5,967 | 5,992 | 5,353 | 4,251 | 2,772 | 1,859 | 1,387 | 1.361 |
| Albacete | 42,85 | 2,552 | 3,319 | 4,625 | 5,842 | 6,371 | 7,251 | 7,560 | 6,694 | 5,320 | 3,605 | 2,681 | 2,194 | 1.767 |
| Alicante | 39 | 2,665 | 3,405 | 4,592 | 5,993 | 6,624 | 7,252 | 7,348 | 6,602 | 5,259 | 3,821 | 2,843 | 2,186 | 1.785 |
| Almería | 38,28 | 2,877 | 3,609 | 4,800 | 6,145 | 6,899 | 7,523 | 7,497 | 6,787 | 5,497 | 3,952 | 3,030 | 2,526 | 1.862 |
| Ávila | 36,84 | 2,209 | 3,020 | 4,364 | 5,336 | 5,902 | 6,933 | 7,338 | 6,468 | 5,009 | 3,266 | 2,345 | 1,910 | 1.648 |
| Badajoz | 40,66 | 2,495 | 3,274 | 4,698 | 5,714 | 6,517 | 7,425 | 7,652 | 6,907 | 5,418 | 3,641 | 2,670 | 2,057 | 1.781 |
| Barcelona | 38,88 | 2,277 | 3,119 | 4,280 | 5,589 | 6,201 | 6,730 | 6,974 | 5,944 | 4,632 | 3,236 | 2,383 | 2,043 | 1.627 |
| Bizkaia | 41,38 | 1,657 | 2,242 | 3,390 | 4,232 | 4,977 | 5,426 | 5,256 | 4,746 | 3,978 | 2,672 | 1,776 | 1,398 | 1.272 |
| Burgos | 43,3 | 1,770 | 2,542 | 4,031 | 4,867 | 5,795 | 7,024 | 7,056 | 6,265 | 4,818 | 2,980 | 1,980 | 1,447 | 1.542 |
| Cáceres | 42,34 | 2,464 | 3,281 | 4,695 | 5,736 | 6,532 | 7,396 | 7,670 | 6,858 | 5,355 | 3,526 | 2,607 | 2,067 | 1.773 |
| Cádiz | 39,47 | 2,644 | 3,480 | 4,752 | 5,917 | 6,871 | 7,423 | 7,482 | 6,774 | 5,479 | 3,921 | 2,812 | 2,261 | 1.822 |
| Castellón | 36,53 | 2,517 | 3,294 | 4,454 | 5,764 | 6,254 | 6,862 | 7,115 | 6,188 | 4,868 | 3,504 | 2,610 | 2,196 | 1.694 |
| Ceuta | 39,99 | 2,591 | 3,208 | 4,283 | 5,633 | 6,458 | 7,247 | 7,236 | 6,492 | 5,177 | 3,677 | 2,674 | 2,195 | 1.733 |
| Ciudad Real | 35,89 | 2,421 | 3,319 | 4,748 | 5,791 | 6,418 | 7,398 | 7,683 | 6,910 | 5,424 | 3,651 | 2,650 | 2,088 | 1.782 |
| Córdoba | 38,99 | 2,421 | 3,319 | 4,748 | 5,791 | 6,418 | 7,398 | 7,683 | 6,910 | 5,424 | 3,651 | 2,650 | 2,088 | 1.782 |
| Cuenca | 37,88 | 2,319 | 3,131 | 4,411 | 5,294 | 6,004 | 7,046 | 7,457 | 6,624 | 5,127 | 3,335 | 2,437 | 2,001 | 1.681 |
| Girona | 40,08 | 2,249 | 3,030 | 4,223 | 5,204 | 5,753 | 6,235 | 6,696 | 5,767 | 4,569 | 3,166 | 2,350 | 1,845 | 1.556 |
| Granada | 42,32 | 2,818 | 3,538 | 4,797 | 5,644 | 6,590 | 7,485 | 7,664 | 6,943 | 5,518 | 3,864 | 2,937 | 2,441 | 1.835 |
| Guadalajara | 41,98 | 2,285 | 3,128 | 4,507 | 5,551 | 6,271 | 7,292 | 7,550 | 6,757 | 5,236 | 3,407 | 2,403 | 1,957 | 1.717 |
| Huelva | 37,18 | 2,735 | 3,529 | 4,837 | 5,773 | 6,712 | 7,503 | 7,664 | 6,970 | 5,568 | 3,855 | 2,937 | 2,348 | 1.841 |
| Huesca | 40,63 | 2,164 | 3,237 | 4,615 | 5,720 | 6,404 | 7,276 | 7,308 | 6,396 | 5,084 | 3,378 | 2,412 | 1,776 | 1.699 |
| Jaén | 37,26 | 2,730 | 3,475 | 4,820 | 5,719 | 6,567 | 7,530 | 7,713 | 6,946 | 5,483 | 3,777 | 2,844 | 2,362 | 1.827 |

| | | $G_a(\pm 90º, 30º)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(\pm 90º, 30º)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| Las Palmas | 42,14 | 3,384 | 4,018 | 4,795 | 5,608 | 6,225 | 5,903 | 5,756 | 5,652 | 5,376 | 4,574 | 3,566 | 3,163 | 1.766 |
| León | 39,57 | 1,964 | 2,851 | 4,231 | 5,259 | 5,959 | 7,193 | 7,202 | 6,393 | 4,849 | 3,060 | 2,163 | 1,562 | 1.605 |
| Lleida | 37,77 | 2,072 | 3,229 | 4,668 | 5,926 | 6,525 | 7,198 | 7,337 | 6,421 | 5,128 | 3,447 | 2,364 | 1,746 | 1.708 |
| Logroño | 28,1 | 1,858 | 2,652 | 4,026 | 4,891 | 5,618 | 6,624 | 6,712 | 5,969 | 4,626 | 3,001 | 2,039 | 1,539 | 1.510 |
| Lugo | 42,6 | 1,737 | 2,363 | 3,595 | 4,400 | 5,113 | 6,120 | 6,041 | 5,566 | 4,233 | 2,648 | 1,843 | 1,407 | 1.373 |
| Madrid | 41,62 | 2,355 | 3,207 | 4,573 | 5,636 | 6,327 | 7,329 | 7,633 | 6,795 | 5,292 | 3,443 | 2,491 | 1,974 | 1.738 |
| Málaga | 42,47 | 2,817 | 3,491 | 4,721 | 5,799 | 6,702 | 7,458 | 7,572 | 6,816 | 5,543 | 3,877 | 2,931 | 2,424 | 1.832 |
| Melilla | 43,01 | 2,877 | 3,571 | 4,687 | 5,955 | 6,475 | 6,920 | 6,990 | 6,433 | 5,338 | 4,114 | 3,029 | 2,622 | 1.797 |
| Murcia | 40,45 | 2,778 | 3,515 | 4,690 | 5,933 | 6,661 | 7,327 | 7,497 | 6,647 | 5,314 | 3,817 | 2,909 | 2,436 | 1.813 |
| Ourense | 36,72 | 1,825 | 2,553 | 3,782 | 4,631 | 5,468 | 6,623 | 6,630 | 6,019 | 4,531 | 2,805 | 1,893 | 1,437 | 1.469 |
| Oviedo | 35,29 | 1,880 | 2,435 | 3,553 | 4,383 | 4,805 | 5,219 | 5,063 | 4,672 | 3,996 | 2,690 | 1,947 | 1,505 | 1.284 |
| Palencia | 37,98 | 1,974 | 2,938 | 4,379 | 5,360 | 6,117 | 7,114 | 7,336 | 6,556 | 5,036 | 3,204 | 2,203 | 1,596 | 1.640 |
| Ilhes Balears | 42,81 | 2,384 | 3,075 | 4,371 | 5,738 | 6,403 | 7,117 | 7,208 | 6,427 | 4,810 | 3,468 | 2,541 | 2,144 | 1.697 |
| Navarra | 42,34 | 1,705 | 2,490 | 3,766 | 4,499 | 5,441 | 6,455 | 6,529 | 5,792 | 4,469 | 2,899 | 1,942 | 1,473 | 1.446 |
| Pontevedra | 43,36 | 1,690 | 2,331 | 3,579 | 4,537 | 5,422 | 6,208 | 6,013 | 5,568 | 4,272 | 2,650 | 1,777 | 1,399 | 1.385 |
| Salamanca | 42,01 | 2,155 | 3,053 | 4,414 | 5,450 | 6,175 | 7,199 | 7,429 | 6,647 | 5,105 | 3,326 | 2,334 | 1,880 | 1.681 |
| Gipuzkoa | 42,43 | 1,625 | 2,233 | 3,463 | 4,322 | 4,986 | 5,493 | 5,347 | 4,811 | 4,007 | 2,543 | 1,734 | 1,345 | 1.277 |
| Santa Cruz de Tenerife | 40,97 | 3,356 | 4,110 | 4,815 | 5,760 | 6,306 | 6,857 | 7,223 | 6,540 | 5,624 | 4,669 | 3,557 | 3,097 | 1.885 |
| Santander | 43,46 | 1,697 | 2,349 | 3,561 | 4,523 | 5,127 | 5,665 | 5,460 | 4,916 | 4,073 | 2,643 | 1,764 | 1,375 | 1.315 |
| Segovia | 40,95 | 2,075 | 2,870 | 4,253 | 5,156 | 5,846 | 6,923 | 7,319 | 6,479 | 4,991 | 3,194 | 2,217 | 1,823 | 1.620 |
| Sevilla | 37,39 | 2,772 | 3,559 | 4,901 | 5,791 | 6,693 | 7,466 | 7,692 | 6,970 | 5,569 | 3,838 | 2,940 | 2,402 | 1.846 |
| Soria | 41,73 | 2,051 | 2,897 | 4,270 | 5,170 | 5,869 | 6,775 | 7,112 | 6,250 | 4,834 | 3,145 | 2,226 | 1,836 | 1.598 |
| Tarragona | 28,04 | 2,355 | 3,222 | 4,398 | 5,656 | 6,240 | 6,878 | 7,076 | 5,962 | 4,716 | 3,318 | 2,480 | 2,113 | 1.657 |
| Teruel | 41,12 | 2,388 | 3,221 | 4,480 | 5,519 | 6,126 | 6,889 | 7,216 | 6,347 | 5,053 | 3,451 | 2,497 | 2,033 | 1.682 |
| Toledo | 40,34 | 2,456 | 3,300 | 4,721 | 5,817 | 6,429 | 7,433 | 7,681 | 6,869 | 5,386 | 3,587 | 2,603 | 2,043 | 1.777 |

| | | $G_a(\pm 90º, 30º)$ (kWh/m²) | | | | | | | | | | | | $G_a(\pm 90º, 30º)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | (kWh/m²) |
| Valencia | 39,88 | 2,602 | 3,345 | 4,595 | 5,950 | 6,495 | 7,093 | 7,301 | 6,419 | 5,106 | 3,639 | 2,727 | 2,238 | 1.752 |
| Valladolid | 39,48 | 2,000 | 2,982 | 4,403 | 5,427 | 6,213 | 7,151 | 7,364 | 6,601 | 5,099 | 3,267 | 2,241 | 1,739 | 1.660 |
| Zamora | 41,5 | 2,008 | 3,030 | 4,459 | 5,494 | 6,260 | 7,262 | 7,410 | 6,659 | 5,080 | 3,294 | 2,268 | 1,766 | 1.675 |
| Zaragoza | 41,67 | 2,146 | 3,191 | 4,600 | 5,717 | 6,470 | 7,160 | 7,372 | 6,453 | 5,091 | 3,420 | 2,427 | 1,913 | 1.705 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia.

# I.b. Energía final teórica asociada al aprovechamiento solar térmico y fotovoltaico de las cubiertas

Se recogen en las tablas siguientes los valores de energía final anual esperable como resultado de un uso solar térmico y fotovoltaico de cubiertas planas e inclinadas en las distintas provincias y ciudades autónomas. Los resultados están normalizados por superficie de cubierta.

Tabla Ib.2.1: Energía final anual esperable resultado del uso solar térmico de cubierta.

| Unidades: kWh/m².año | | Cubierta plana, Orientación: | Cubierta inclinada, Orientación: | |
|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Norte-Sur, Este-Oeste | Sur | Este u Oeste |
| A Coruña | 43,36 | 245 | 516 | 424 |
| Álava | 41,85 | 295 | 620 | 507 |
| Albacete | 42,85 | 242 | 509 | 416 |
| Alicante | 39 | 312 | 656 | 533 |
| Almería | 38,28 | 315 | 664 | 540 |
| Ávila | 36,84 | 327 | 687 | 554 |
| Badajoz | 40,66 | 292 | 615 | 502 |
| Barcelona | 38,88 | 312 | 658 | 535 |
| Bizkaia | 41,38 | 292 | 615 | 508 |
| Burgos | 43,3 | 228 | 481 | 397 |
| Cáceres | 42,34 | 271 | 571 | 466 |
| Cádiz | 39,47 | 313 | 658 | 535 |
| Castellón | 36,53 | 305 | 642 | 504 |
| Ceuta | 39,99 | 304 | 639 | 522 |
| Ciudad Real | 35,89 | 297 | 625 | 497 |
| Córdoba | 38,99 | 313 | 659 | 533 |
| Cuenca | 37,88 | 319 | 671 | 542 |
| Girona | 40,08 | 298 | 628 | 510 |
| Granada | 42,32 | 229 | 481 | 395 |
| Guadalajara | 41,98 | 283 | 595 | 491 |
| Huelva | 37,18 | 322 | 679 | 546 |
| Huesca | 40,63 | 305 | 642 | 524 |
| Jaén | 37,26 | 323 | 679 | 547 |
| Las Palmas | 42,14 | 306 | 644 | 528 |
| León | 39,57 | 299 | 630 | 510 |
| Lleida | 37,77 | 321 | 676 | 545 |
| Logroño | 28,1 | 293 | 618 | 484 |
| Lugo | 42,6 | 287 | 604 | 493 |
| Madrid | 41,62 | 306 | 643 | 525 |
| Málaga | 42,47 | 269 | 566 | 463 |
| Melilla | 43,01 | 244 | 513 | 419 |
| Murcia | 40,45 | 309 | 651 | 529 |
| Ourense | 36,72 | 320 | 674 | 541 |
| Oviedo | 35,29 | 312 | 657 | 527 |
| Palencia | 37,98 | 321 | 675 | 548 |
| Illes Balears | 42,81 | 257 | 541 | 444 |
| Navarra | 42,34 | 260 | 547 | 444 |
| Pontevedra | 43,36 | 234 | 492 | 406 |
| Salamanca | 42,01 | 292 | 615 | 500 |
| Gipuzkoa | 42,43 | 259 | 545 | 448 |
| Santa Cruz de Tenerife | 40,97 | 297 | 626 | 512 |
| Santander | 43,46 | 235 | 495 | 409 |

| Unidades: kWh/m².año | | Cubierta plana, Orientación: | Cubierta inclinada, Orientación: | |
|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Norte-Sur, Este-Oeste | Sur | Este u Oeste |
| Segovia | 40,95 | 287 | 604 | 491 |
| Sevilla | 37,39 | 325 | 683 | 550 |
| Soria | 41,73 | 286 | 601 | 491 |
| Tarragona | 28,04 | 310 | 652 | 509 |
| Teruel | 41,12 | 299 | 630 | 514 |
| Toledo | 40,34 | 300 | 632 | 514 |
| Valencia | 39,88 | 315 | 664 | 537 |
| Valladolid | 39,48 | 313 | 659 | 536 |
| Zamora | 41,5 | 297 | 626 | 509 |
| Zaragoza | 41,67 | 306 | 644 | 529 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia.

Tabla Ib.2.2: Energía final anual esperable resultado del uso solar fotovoltaico de cubierta.

| Unidades: kWh/m².año | | Cubierta plana, Orientación: | Cubierta inclinada, | |
|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Norte-Sur, Este-Oeste | Sur | Este u Oeste |
| A Coruña | 43,36 | 131 | 275 | 226 |
| Álava | 41,85 | 157 | 331 | 270 |
| Albacete | 42,85 | 129 | 272 | 222 |
| Alicante | 39 | 166 | 350 | 284 |
| Almería | 38,28 | 168 | 354 | 288 |
| Ávila | 36,84 | 174 | 367 | 295 |
| Badajoz | 40,66 | 156 | 328 | 268 |
| Barcelona | 38,88 | 167 | 351 | 285 |
| Bizkaia | 41,38 | 156 | 328 | 271 |
| Burgos | 43,3 | 122 | 257 | 212 |
| Cáceres | 42,34 | 145 | 304 | 249 |
| Cádiz | 39,47 | 167 | 351 | 285 |
| Castellón | 36,53 | 163 | 342 | 269 |
| Ceuta | 39,99 | 162 | 341 | 279 |
| Ciudad Real | 35,89 | 158 | 333 | 265 |
| Córdoba | 38,99 | 167 | 352 | 284 |
| Cuenca | 37,88 | 170 | 358 | 289 |
| Girona | 40,08 | 159 | 335 | 272 |
| Granada | 42,32 | 122 | 257 | 211 |
| Guadalajara | 41,98 | 151 | 317 | 262 |
| Huelva | 37,18 | 172 | 362 | 291 |
| Huesca | 40,63 | 163 | 342 | 280 |
| Jaén | 37,26 | 172 | 362 | 292 |
| Las Palmas | 42,14 | 163 | 343 | 282 |
| León | 39,57 | 160 | 336 | 272 |
| Lleida | 37,77 | 171 | 361 | 290 |
| Logroño | 28,1 | 156 | 329 | 258 |
| Lugo | 42,6 | 153 | 322 | 263 |
| Madrid | 41,62 | 163 | 343 | 280 |
| Málaga | 42,47 | 143 | 302 | 247 |
| Melilla | 43,01 | 130 | 274 | 224 |
| Murcia | 40,45 | 165 | 347 | 282 |
| Ourense | 36,72 | 171 | 360 | 288 |
| Oviedo | 35,29 | 167 | 351 | 281 |
| Palencia | 37,98 | 171 | 360 | 292 |
| Illes Balears | 42,81 | 137 | 288 | 237 |
| Navarra | 42,34 | 138 | 292 | 237 |
| Pontevedra | 43,36 | 125 | 262 | 216 |
| Salamanca | 42,01 | 156 | 328 | 267 |
| Gipuzkoa | 42,43 | 138 | 291 | 239 |
| Santa Cruz de Tenerife | 40,97 | 159 | 334 | 273 |
| Santander | 43,46 | 125 | 264 | 218 |

| Unidades: kWh/m².año | | Cubierta plana, Orientación: | Cubierta inclinada, | |
|---|---|---|---|---|
| Provincia | Latitud (º) | Norte-Sur, Este-Oeste | Sur | Este u Oeste |
| Segovia | 40,95 | 153 | 322 | 262 |
| Sevilla | 37,39 | 173 | 364 | 293 |
| Soria | 41,73 | 152 | 321 | 262 |
| Tarragona | 28,04 | 165 | 348 | 271 |
| Teruel | 41,12 | 159 | 336 | 274 |
| Toledo | 40,34 | 160 | 337 | 274 |
| Valencia | 39,88 | 168 | 354 | 286 |
| Valladolid | 39,48 | 167 | 352 | 286 |
| Zamora | 41,5 | 159 | 334 | 271 |
| Zaragoza | 41,67 | 163 | 344 | 282 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia.

# I.c. Cobertura de necesidades energéticas según distintas posibilidades de aprovechamiento de cubiertas

Las tablas siguientes muestran los consumos de los usos energéticos principales asignados a los clústers de viviendas:

- Calefacción: valores procedentes del estudio "Aproximación a la demanda energética residencial para calefacción en España" , extrapolados a viviendas de 100 $m^2$ de superficie. Fuente: Ministerio de Fomento, "Aproximación a la demanda energética residencial para calefacción en España", Diciembre de 2018.
- Iluminación y electrodomésticos: promedio de consumos anuales por hogar principal en el periodo 2010-2017. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, "Consumos de energía final por usos del sector residencial. Años 2010 a 2017".
- Agua caliente sanitaria: consumos individualizados por clúster, calculados según establece el Código Técnico de la Edificación. Fuente: Código Técnico de la Edificación, Documento básico HE Ahorro de energía, HE4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria). Junio 2017.

Tabla Ic.3.1: Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 m2 de superficie: clústers Uu.

| | Unidades: kWh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Uu < 40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
| A Coruña | 13.687 | 12.648 | 12.229 | 7.095 | 4.313 |
| Araba/Álava | 24.029 | 22.394 | 21.735 | 13.814 | 9.438 |
| Albacete | 20.460 | 19.003 | 18.416 | 11.177 | 7.330 |
| Alicante/Alacant | 8.415 | 7.717 | 7.436 | 4.059 | 2.273 |
| Almería | 6.057 | 5.489 | 5.259 | 2.712 | 1.393 |
| Ávila | 27.014 | 25.186 | 24.448 | 15.271 | 10.376 |
| Badajoz | 12.614 | 11.679 | 11.301 | 6.681 | 4.176 |
| Barcelona | 13.545 | 12.519 | 12.106 | 7.142 | 4.523 |
| Bizkaia | 15.526 | 14.385 | 13.925 | 8.253 | 5.239 |
| Burgos | 26.949 | 25.138 | 24.407 | 15.289 | 10.439 |
| Cáceres | 14.799 | 13.705 | 13.264 | 7.905 | 5.098 |
| Cádiz | 5.853 | 5.298 | 5.075 | 2.532 | 1.279 |
| Castellón/Castelló | 10.480 | 9.661 | 9.330 | 5.329 | 3.136 |
| Ceuta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ciudad Real | 17.694 | 16.422 | 15.914 | 9.642 | 6.269 |
| Córdoba | 11.074 | 10.222 | 9.878 | 5.701 | 3.464 |
| Cuenca | 23.121 | 21.522 | 20.876 | 12.874 | 8.590 |
| Girona | 17.786 | 16.489 | 15.966 | 9.542 | 6.200 |
| Gipuzkoa | 18.017 | 16.732 | 16.214 | 9.800 | 6.362 |
| Granada | 16.545 | 15.305 | 14.804 | 8.816 | 5.693 |
| Guadalajara | 21.607 | 20.084 | 19.469 | 11.887 | 7.828 |
| Huelva | 8.621 | 7.909 | 7.621 | 4.174 | 2.345 |
| Huesca | 20.350 | 18.899 | 18.313 | 11.105 | 7.293 |
| Illes Balears | 8.573 | 7.866 | 7.582 | 4.159 | 2.285 |
| Jaén | 12.933 | 11.973 | 11.586 | 6.850 | 4.279 |
| Las Palmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| León | 26.050 | 24.283 | 23.571 | 14.700 | 9.971 |
| Lleida | 18.403 | 17.100 | 16.574 | 10.086 | 6.617 |
| Logroño | 20.136 | 18.715 | 18.142 | 11.049 | 7.262 |
| Lugo | 22.497 | 20.950 | 20.326 | 12.560 | 8.418 |
| Madrid | 18.243 | 16.911 | 16.374 | 9.832 | 6.397 |
| Málaga | 7.449 | 6.804 | 6.544 | 3.448 | 1.846 |
| Melilla | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Murcia | 9.325 | 8.571 | 8.267 | 4.612 | 2.735 |
| Navarra | 22.234 | 20.698 | 20.078 | 12.378 | 8.265 |
| Ourense | 16.722 | 15.503 | 15.011 | 8.954 | 5.742 |
| Asturias | 18.628 | 17.303 | 16.769 | 10.155 | 6.608 |
| Palencia | 25.636 | 23.890 | 23.186 | 14.428 | 9.753 |
| Pontevedra | 14.761 | 13.654 | 13.207 | 7.735 | 4.788 |
| Salamanca | 24.000 | 22.343 | 21.675 | 13.390 | 8.953 |
| Sta. Cruz de Tenerife | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santander | 15.431 | 14.293 | 13.834 | 8.182 | 5.146 |
| Segovia | 23.895 | 22.250 | 21.586 | 13.349 | 8.943 |

| | Unidades: kWh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Uu < 40 | Uu 41-60 | Uu 61-80 | Uu 81-07 | Uu 08-11 |
| Sevilla | 8.041 | 7.363 | 7.097 | 3.972 | 2.275 |
| Soria | 26.530 | 24.734 | 24.010 | 14.989 | 10.180 |
| Tarragona | 13.389 | 12.374 | 11.968 | 7.118 | 4.494 |
| Teruel | 24.349 | 22.667 | 21.989 | 13.586 | 9.082 |
| Toledo | 17.057 | 15.832 | 15.339 | 9.258 | 6.020 |
| Valencia/Valéncia | 8.323 | 7.634 | 7.356 | 4.015 | 2.266 |
| Valladolid | 23.074 | 21.473 | 20.827 | 12.827 | 8.541 |
| Zamora | 22.007 | 20.466 | 19.844 | 12.158 | 8.031 |
| Zaragoza | 16.973 | 15.752 | 15.259 | 9.198 | 5.973 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento.

Tabla Ic.3.2: Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 m2 de superficie: clústers Cc.

| | Unidades: kWh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Cc < 40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| A Coruña | 9.513 | 8.888 | 5.913 | 4.024 | 2.403 |
| Araba/Álava | 17.298 | 16.315 | 11.634 | 8.539 | 5.856 |
| Albacete | 14.562 | 13.686 | 9.515 | 6.873 | 4.590 |
| Alicante/Alacant | 5.692 | 5.272 | 3.275 | 2.135 | 1.148 |
| Almería | 3.937 | 3.622 | 2.158 | 1.316 | 615 |
| Ávila | 19.506 | 18.407 | 13.171 | 9.724 | 6.724 |
| Badajoz | 8.858 | 8.296 | 5.617 | 3.918 | 2.427 |
| Barcelona | 9.454 | 8.843 | 6.027 | 4.242 | 2.637 |
| Bizkaia | 10.905 | 10.218 | 6.950 | 4.887 | 3.175 |
| Burgos | 19.482 | 18.392 | 13.206 | 9.768 | 6.796 |
| Cáceres | 10.405 | 9.753 | 6.708 | 4.780 | 3.059 |
| Cádiz | 3.757 | 3.423 | 2.000 | 1.207 | 578 |
| Castellón/Castelló | 7.240 | 6.747 | 4.402 | 2.952 | 1.696 |
| Ceuta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ciudad Real | 12.572 | 11.813 | 8.201 | 5.878 | 3.885 |
| Córdoba | 7.689 | 7.176 | 4.736 | 3.250 | 1.966 |
| Cuenca | 16.584 | 15.622 | 11.041 | 8.048 | 5.423 |
| Girona | 12.559 | 11.779 | 8.076 | 5.808 | 3.861 |
| Gipuzkoa | 12.780 | 12.007 | 8.330 | 5.936 | 3.852 |
| Granada | 11.613 | 10.880 | 7.473 | 5.346 | 3.479 |
| Guadalajara | 15.424 | 14.507 | 10.147 | 7.338 | 4.945 |
| Huelva | 5.842 | 5.413 | 3.373 | 2.206 | 1.194 |
| Huesca | 14.477 | 13.604 | 9.449 | 6.837 | 4.578 |
| Illes Balears | 5.810 | 5.385 | 3.363 | 2.152 | 1.156 |
| Jaén | 9.086 | 8.509 | 5.758 | 4.021 | 2.445 |
| Las Palmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| León | 18.792 | 17.729 | 12.671 | 9.338 | 6.439 |
| Lleida | 13.112 | 12.328 | 8.595 | 6.203 | 4.146 |
| Logroño | 14.348 | 13.493 | 9.422 | 6.789 | 4.560 |
| Lugo | 16.144 | 15.213 | 10.784 | 7.866 | 5.328 |
| Madrid | 12.886 | 12.085 | 8.366 | 6.002 | 3.924 |
| Málaga | 4.960 | 4.572 | 2.740 | 1.738 | 857 |
| Melilla | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Murcia | 6.369 | 5.915 | 3.810 | 2.570 | 1.429 |
| Navarra | 15.938 | 15.014 | 10.616 | 7.728 | 5.208 |
| Ourense | 11.788 | 11.054 | 7.562 | 5.362 | 3.491 |
| Asturias | 13.229 | 12.432 | 8.639 | 6.172 | 3.998 |
| Palencia | 18.474 | 17.424 | 12.424 | 9.138 | 6.273 |
| Pontevedra | 10.310 | 9.645 | 6.475 | 4.469 | 2.795 |
| Salamanca | 17.233 | 16.236 | 11.491 | 8.395 | 5.676 |
| Sta. Cruz de Tenerife | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santander | 10.828 | 10.143 | 6.884 | 4.804 | 3.024 |
| Segovia | 17.164 | 16.174 | 11.462 | 8.379 | 5.679 |

| | Unidades: kWh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Cc < 40 | Cc 41-60 | Cc 61-80 | Cc 81-07 | Cc 08-11 |
| Sevilla | 5.467 | 5.082 | 3.247 | 2.139 | 1.227 |
| Soria | 19.150 | 18.069 | 12.926 | 9.536 | 6.588 |
| Tarragona | 9.397 | 8.808 | 6.001 | 4.218 | 2.610 |
| Teruel | 17.487 | 16.475 | 11.659 | 8.521 | 5.762 |
| Toledo | 12.103 | 11.366 | 7.861 | 5.644 | 3.730 |
| Valencia/Valéncia | 5.628 | 5.214 | 3.242 | 2.126 | 1.130 |
| Valladolid | 16.541 | 15.578 | 10.994 | 8.006 | 5.378 |
| Zamora | 15.734 | 14.807 | 10.395 | 7.531 | 5.039 |
| Zaragoza | 12.035 | 11.300 | 7.803 | 5.601 | 3.692 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento.

Tabla Ic.3.3: Consumo energético en calefacción de viviendas de 100 m2 de superficie: clústers Bb.

| | Unidades: kWh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Bb < 40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| A Coruña | 6.948 | 5.927 | 5.264 | 2.690 | 1.591 |
| Araba/Álava | 12.603 | 11.655 | 10.216 | 6.361 | 4.357 |
| Albacete | 10.774 | 9.534 | 8.489 | 5.017 | 3.356 |
| Alicante/Alacant | 4.292 | 3.284 | 3.032 | 1.332 | 656 |
| Almería | 3.038 | 2.165 | 2.017 | 732 | 280 |
| Ávila | 14.338 | 13.195 | 11.635 | 7.289 | 5.048 |
| Badajoz | 6.561 | 5.629 | 5.039 | 2.690 | 1.645 |
| Barcelona | 7.040 | 6.040 | 5.395 | 2.939 | 1.741 |
| Bizkaia | 7.936 | 6.965 | 6.146 | 3.488 | 2.245 |
| Burgos | 14.242 | 13.229 | 11.612 | 7.355 | 5.135 |
| Cáceres | 7.704 | 6.722 | 5.981 | 3.383 | 2.098 |
| Cádiz | 2.921 | 2.006 | 1.877 | 692 | 264 |
| Castellón/Castelló | 5.427 | 4.413 | 4.016 | 1.925 | 1.044 |
| Ceuta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ciudad Real | 9.286 | 8.217 | 7.309 | 4.253 | 2.794 |
| Córdoba | 5.742 | 4.747 | 4.297 | 2.203 | 1.310 |
| Cuenca | 12.185 | 11.062 | 9.771 | 5.917 | 3.998 |
| Girona | 9.286 | 8.093 | 7.212 | 4.225 | 2.779 |
| Gipuzkoa | 9.294 | 8.347 | 7.338 | 4.238 | 2.747 |
| Granada | 8.674 | 7.488 | 6.696 | 3.830 | 2.436 |
| Guadalajara | 11.403 | 10.166 | 9.038 | 5.394 | 3.622 |
| Huelva | 4.418 | 3.382 | 3.129 | 1.365 | 721 |
| Huesca | 10.717 | 9.468 | 8.435 | 4.994 | 3.357 |
| Illes Balears | 4.375 | 3.372 | 3.106 | 1.332 | 645 |
| Jaén | 6.765 | 5.771 | 5.188 | 2.742 | 1.630 |
| Las Palmas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| León | 13.780 | 12.694 | 11.176 | 6.984 | 4.819 |
| Lleida | 9.678 | 8.612 | 7.651 | 4.528 | 3.013 |
| Logroño | 10.522 | 9.441 | 8.344 | 4.978 | 3.346 |
| Lugo | 11.766 | 10.804 | 9.481 | 5.805 | 3.909 |
| Madrid | 9.577 | 8.383 | 7.463 | 4.307 | 2.805 |
| Málaga | 3.781 | 2.748 | 2.570 | 1.009 | 459 |
| Melilla | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Murcia | 4.801 | 3.819 | 3.464 | 1.641 | 877 |
| Navarra | 11.641 | 10.635 | 9.353 | 5.682 | 3.848 |
| Ourense | 8.631 | 7.578 | 6.712 | 3.837 | 2.489 |
| Asturias | 9.653 | 8.656 | 7.627 | 4.407 | 2.798 |
| Palencia | 13.569 | 12.447 | 10.976 | 6.812 | 4.672 |
| Pontevedra | 7.562 | 6.489 | 5.773 | 3.104 | 1.909 |
| Salamanca | 12.696 | 11.512 | 10.188 | 6.187 | 4.172 |
| Sta. Cruz de Tenerife | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santander | 7.896 | 6.899 | 6.099 | 3.345 | 2.110 |
| Segovia | 12.614 | 11.483 | 10.141 | 6.187 | 4.179 |

| | Unidades: kWh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Provincia | Bb < 40 | Bb 41-60 | Bb 61-80 | Bb 81-07 | Bb 08-11 |
| Sevilla | 4.107 | 3.256 | 2.979 | 1.387 | 757 |
| Soria | 14.053 | 12.949 | 11.406 | 7.143 | 4.942 |
| Tarragona | 6.970 | 6.014 | 5.384 | 2.913 | 1.725 |
| Teruel | 12.909 | 11.681 | 10.352 | 6.281 | 4.263 |
| Toledo | 8.938 | 7.877 | 7.010 | 4.089 | 2.664 |
| Valencia/Valéncia | 4.229 | 3.250 | 2.990 | 1.312 | 652 |
| Valladolid | 12.176 | 11.014 | 9.745 | 5.873 | 3.970 |
| Zamora | 11.599 | 10.415 | 9.233 | 5.492 | 3.702 |
| Zaragoza | 8.899 | 7.819 | 6.967 | 4.051 | 2.628 |

Nota: provincias representadas por sus capitales.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento.

Tabla Ic.3.4: Consumo eléctrico anual en iluminación y electrodomésticos del sector residencial.

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Media |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Número de viviendas principales | 17.762.862 | 18.099.406 | 18.112.437 | 18.991.031 | 19.113.128 | 18.976.018 | 19.056.443 | 19.120.417 | 18.653.968 |
| Consumo eléctrico sector residencial (GWh) | 55.666 | 55.981 | 55.232 | 52.269 | 52.011 | 51.540 | 51.230 | 51.496 | 53.178 |
| Consumo eléctrico anual /hogar (kWh) | 3.134 | 3.093 | 3.049 | 2.752 | 2.721 | 2.716 | 2.688 | 2.693 | 2.856 |

Fuente: Ministerio de fomento, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

# I.d. Cobertura de necesidades energéticas según distintos escenarios de aprovechamiento de cubiertas

Se presentan seguidamente los resultados de cobertura de las necesidades energéticas de las viviendas clúster, de acuerdo a los escenarios definidos:

- Escenario 1: usos térmico y fotovoltaico. Uso compartido de la cubierta por parte de instalación solar térmica para la cobertura del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria y de instalación fotovoltaica para la cobertura de necesidades de iluminación y electrodomésticos.
- Escenario 2: uso fotovoltaico básico. Uso exclusivo de la cubierta por parte de instalación fotovoltaica para la cobertura del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria (uso de termo eléctrico), iluminación y electrodomésticos.
- Escenario 3: uso fotovoltaico ampliado. Uso exclusivo de la cubierta por parte de instalación fotovoltaica para la cobertura del 60% de necesidades de agua caliente sanitaria, calefacción (uso de bomba de calor), iluminación y electrodomésticos.

Se presentan las provincias y ciudades autónomas (las primeras respresentadas por las capitales respectivas) agrupadas por la zona climática solar a la que pertenecen, según el código de colores siguiente:

| Zona climática | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I | II | III | IV | V |
| | | | | |

- Escenario 1: usos térmico y fotovoltaico

  Se presentan tablas con el porcentaje de ocupación de las cubiertas por parte de los colectores solares térmicos, porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas de electricidad para iluminación y electrodomésticos y la generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda para iluminación y electrodomésticos.

Tabla Id.4.1.a: Escenario 1: porcentaje de ocupación de cubiertas por colectores solares para producción de agua caliente sanitaria.

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 6% | 6% | 6% | 7% | 7% | 6% | 6% | 5% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% |
| Uu 41-60 | 6% | 6% | 6% | 7% | 7% | 6% | 6% | 5% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% |
| Uu 61-80 | 6% | 7% | 7% | 7% | 7% | 6% | 7% | 5% | 6% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% |
| Uu 81-07 | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% | 6% | 7% | 6% | 6% | 7% | 6% | 6% | 6% | 6% |
| Uu 08-11 | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% | 6% | 7% | 6% | 6% | 7% | 6% | 6% | 6% | 6% |
| Cc <40 | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 10% | 11% | 9% | 9% | 11% | 10% | 10% | 9% | 9% |
| Cc 41-60 | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 10% | 11% | 9% | 9% | 11% | 10% | 10% | 9% | 9% |
| Cc 61-80 | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 10% | 11% | 9% | 9% | 10% | 10% | 10% | 9% | 9% |
| Cc 81-07 | 11% | 11% | 12% | 12% | 12% | 10% | 11% | 9% | 10% | 11% | 10% | 10% | 9% | 9% |
| Cc 08-11 | 11% | 11% | 12% | 12% | 12% | 10% | 11% | 9% | 10% | 11% | 10% | 10% | 9% | 9% |
| Bb <40 | 18% | 18% | 19% | 19% | 19% | 17% | 19% | 15% | 16% | 18% | 17% | 17% | 15% | 15% |
| Bb 41-60 | 23% | 23% | 24% | 24% | 24% | 21% | 24% | 19% | 20% | 22% | 21% | 21% | 19% | 18% |
| Bb 61-80 | 26% | 27% | 28% | 28% | 28% | 25% | 27% | 22% | 23% | 26% | 25% | 24% | 22% | 21% |
| Bb 81-07 | 26% | 26% | 27% | 28% | 28% | 25% | 27% | 21% | 23% | 26% | 24% | 24% | 21% | 21% |
| Bb 08-11 | 26% | 26% | 27% | 28% | 28% | 25% | 27% | 21% | 23% | 26% | 24% | 24% | 21% | 21% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.1.b: Escenario 1: porcentaje de ocupación de cubiertas por colectores solares para producción de agua caliente sanitaria.

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 41-60 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 61-80 | 5% | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 81-07 | 6% | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% |
| Uu 08-11 | 6% | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% |
| Cc <40 | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 10% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% |
| Cc 41-60 | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 10% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% |
| Cc 61-80 | 9% | 9% | 8% | 9% | 8% | 10% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% |
| Cc 81-07 | 9% | 10% | 9% | 9% | 9% | 10% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% |
| Cc 08-11 | 9% | 10% | 9% | 9% | 9% | 10% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% | 9% |
| Bb <40 | 15% | 16% | 14% | 15% | 14% | 16% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% |
| Bb 41-60 | 19% | 20% | 18% | 19% | 18% | 21% | 19% | 19% | 19% | 18% | 18% | 19% | 19% | 18% |
| Bb 61-80 | 22% | 23% | 21% | 22% | 21% | 24% | 22% | 22% | 23% | 22% | 21% | 22% | 22% | 21% |
| Bb 81-07 | 21% | 23% | 21% | 22% | 21% | 24% | 21% | 22% | 22% | 21% | 21% | 21% | 22% | 21% |
| Bb 08-11 | 21% | 23% | 21% | 22% | 21% | 24% | 21% | 22% | 22% | 21% | 21% | 21% | 22% | 21% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.1.c: Escenario 1: porcentaje de ocupación de cubiertas por colectores solares para producción de agua caliente sanitaria.

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 41-60 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 61-80 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 81-07 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 08-11 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Cc <40 | 9% | 8% | 8% | 8% | 9% | 9% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% |
| Cc 41-60 | 9% | 8% | 8% | 8% | 9% | 9% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% |
| Cc 61-80 | 9% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% |
| Cc 81-07 | 9% | 9% | 8% | 8% | 9% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 9% | 9% | 9% |
| Cc 08-11 | 9% | 9% | 8% | 8% | 9% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 9% | 9% | 9% |
| Bb <40 | 15% | 14% | 14% | 14% | 15% | 15% | 14% | 14% | 14% | 14% | 14% | 14% | 14% |
| Bb 41-60 | 18% | 18% | 17% | 17% | 18% | 18% | 17% | 18% | 17% | 17% | 18% | 18% | 18% |
| Bb 61-80 | 21% | 21% | 20% | 20% | 21% | 22% | 20% | 21% | 20% | 20% | 20% | 21% | 21% |
| Bb 81-07 | 21% | 20% | 20% | 20% | 21% | 21% | 20% | 21% | 20% | 20% | 20% | 20% | 21% |
| Bb 08-11 | 21% | 20% | 20% | 20% | 21% | 21% | 20% | 21% | 20% | 20% | 20% | 20% | 21% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.1.d: Escenario 1: porcentaje de ocupación de cubiertas por colectores solares para producción de agua caliente sanitaria.

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 41-60 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 61-80 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 81-07 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% |
| Uu 08-11 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% |
| Cc <40 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 8% |
| Cc 41-60 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 8% |
| Cc 61-80 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 8% |
| Cc 81-07 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 9% |
| Cc 08-11 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 9% | 8% | 8% | 9% |
| Bb <40 | 14% | 14% | 13% | 14% | 14% | 15% | 13% | 15% | 14% | 13% | 14% |
| Bb 41-60 | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 18% | 17% | 18% | 17% | 17% | 17% |
| Bb 61-80 | 20% | 20% | 19% | 20% | 20% | 21% | 19% | 21% | 20% | 19% | 20% |
| Bb 81-07 | 20% | 20% | 19% | 20% | 20% | 21% | 19% | 21% | 20% | 19% | 20% |
| Bb 08-11 | 20% | 20% | 19% | 20% | 20% | 21% | 19% | 21% | 20% | 19% | 20% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.2.a: Escenario 1: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 79% | 78% | 76% | 75% | 75% | 82% | 76% | 90% | 85% | 79% | 82% | 82% | 90% | 90% |
| Bb 41-60 | 66% | 65% | 63% | 61% | 61% | 70% | 63% | 79% | 74% | 66% | 70% | 70% | 79% | 80% |
| Bb 61-80 | 56% | 56% | 54% | 52% | 52% | 60% | 54% | 68% | 63% | 56% | 59% | 60% | 68% | 68% |
| Bb 81-07 | 61% | 60% | 58% | 56% | 56% | 65% | 58% | 75% | 69% | 61% | 65% | 66% | 75% | 76% |
| Bb 08-11 | 61% | 60% | 58% | 56% | 56% | 65% | 58% | 75% | 69% | 61% | 65% | 66% | 75% | 76% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.2.b: Escenario 1: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 91% | 87% | 92% | 88% | 92% | 84% | 91% | 88% | 88% | 91% | 91% | 91% | 89% | 92% |
| Bb 41-60 | 81% | 76% | 83% | 78% | 83% | 73% | 80% | 78% | 77% | 81% | 81% | 80% | 79% | 83% |
| Bb 61-80 | 69% | 65% | 71% | 66% | 71% | 62% | 69% | 66% | 66% | 69% | 69% | 69% | 68% | 71% |
| Bb 81-07 | 76% | 72% | 79% | 73% | 79% | 68% | 76% | 73% | 73% | 77% | 77% | 76% | 75% | 78% |
| Bb 08-11 | 76% | 72% | 79% | 73% | 79% | 68% | 76% | 73% | 73% | 77% | 77% | 76% | 75% | 78% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.2.c: Escenario 1: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 92% | 94% | 94% | 95% | 92% | 91% | 95% | 93% | 94% | 95% | 94% | 94% | 93% |
| Bb 41-60 | 82% | 85% | 86% | 87% | 82% | 81% | 87% | 84% | 86% | 86% | 85% | 85% | 83% |
| Bb 61-80 | 70% | 73% | 74% | 75% | 71% | 69% | 74% | 72% | 74% | 74% | 73% | 72% | 71% |
| Bb 81-07 | 78% | 81% | 82% | 83% | 78% | 77% | 83% | 80% | 83% | 83% | 81% | 81% | 79% |
| Bb 08-11 | 78% | 81% | 82% | 83% | 78% | 77% | 83% | 80% | 83% | 83% | 81% | 81% | 79% |

Fuente: elaboración propia.

Tabda Id.4.2.d: Escenario 1: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 94% | 94% | 95% | 94% | 94% | 91% | 95% | 90% | 94% | 95% | 94% |
| Bb 41-60 | 85% | 86% | 88% | 85% | 85% | 81% | 87% | 80% | 85% | 88% | 84% |
| Bb 61-80 | 73% | 73% | 76% | 73% | 73% | 69% | 75% | 68% | 73% | 76% | 72% |
| Bb 81-07 | 81% | 82% | 85% | 81% | 81% | 77% | 84% | 76% | 81% | 84% | 80% |
| Bb 08-11 | 81% | 82% | 85% | 81% | 81% | 77% | 84% | 76% | 81% | 84% | 80% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.3.a: Escenario 1: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 246% | 240% | 230% | 222% | 221% | 267% | 233% | 319% | 284% | 243% | 264% | 266% | 314% | 319% |
| Uu 41-60 | 246% | 240% | 230% | 222% | 221% | 267% | 233% | 319% | 284% | 243% | 264% | 266% | 314% | 319% |
| Uu 61-80 | 232% | 227% | 217% | 209% | 208% | 252% | 219% | 302% | 269% | 230% | 250% | 252% | 298% | 303% |
| Uu 81-07 | 218% | 213% | 203% | 196% | 195% | 238% | 206% | 285% | 254% | 216% | 235% | 237% | 282% | 286% |
| Uu 08-11 | 218% | 213% | 203% | 196% | 195% | 238% | 206% | 285% | 254% | 216% | 235% | 237% | 282% | 286% |
| Cc <40 | 96% | 93% | 86% | 82% | 81% | 108% | 88% | 139% | 119% | 95% | 107% | 108% | 137% | 140% |
| Cc 41-60 | 96% | 93% | 86% | 82% | 81% | 108% | 88% | 139% | 119% | 95% | 107% | 108% | 137% | 140% |
| Cc 61-80 | 88% | 85% | 78% | 74% | 74% | 99% | 80% | 129% | 110% | 87% | 98% | 100% | 127% | 130% |
| Cc 81-07 | 78% | 76% | 70% | 65% | 65% | 90% | 71% | 118% | 100% | 77% | 88% | 90% | 116% | 119% |
| Cc 08-11 | 78% | 76% | 70% | 65% | 65% | 90% | 71% | 118% | 100% | 77% | 88% | 90% | 116% | 119% |
| Bb <40 | 12% | 11% | 10% | 9% | 9% | 15% | 10% | 23% | 18% | 12% | 15% | 15% | 22% | 23% |
| Bb 41-60 | 5% | 5% | 4% | 4% | 3% | 6% | 4% | 10% | 7% | 5% | 6% | 6% | 9% | 9% |
| Bb 61-80 | 2% | 1% | 1% | 0% | 0% | 3% | 1% | 6% | 4% | 2% | 3% | 3% | 5% | 6% |
| Bb 81-07 | 3% | 3% | 2% | 2% | 2% | 4% | 3% | 6% | 5% | 3% | 4% | 4% | 6% | 6% |
| Bb 08-11 | 3% | 3% | 2% | 2% | 2% | 4% | 3% | 6% | 5% | 3% | 4% | 4% | 6% | 6% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.3.b: Escenario 1: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 323% | 304% | 337% | 307% | 335% | 313% | 323% | 306% | 305% | 326% | 326% | 322% | 315% | 324% |
| Uu 41-60 | 323% | 304% | 337% | 307% | 335% | 313% | 323% | 306% | 305% | 326% | 326% | 322% | 315% | 324% |
| Uu 61-80 | 307% | 288% | 320% | 291% | 318% | 295% | 307% | 290% | 289% | 309% | 309% | 305% | 299% | 308% |
| Uu 81-07 | 290% | 272% | 303% | 275% | 301% | 277% | 290% | 274% | 273% | 292% | 293% | 289% | 282% | 292% |
| Uu 08-11 | 290% | 272% | 303% | 275% | 301% | 277% | 290% | 274% | 273% | 292% | 293% | 289% | 282% | 292% |
| Cc <40 | 142% | 130% | 150% | 132% | 149% | 131% | 142% | 132% | 131% | 143% | 144% | 141% | 137% | 143% |
| Cc 41-60 | 142% | 130% | 150% | 132% | 149% | 131% | 142% | 132% | 131% | 143% | 144% | 141% | 137% | 143% |
| Cc 61-80 | 132% | 120% | 139% | 123% | 139% | 120% | 132% | 122% | 122% | 133% | 134% | 131% | 127% | 134% |
| Cc 81-07 | 121% | 109% | 128% | 112% | 127% | 108% | 121% | 112% | 111% | 122% | 122% | 120% | 116% | 123% |
| Cc 08-11 | 121% | 109% | 128% | 112% | 127% | 108% | 121% | 112% | 111% | 122% | 122% | 120% | 116% | 123% |
| Bb <40 | 23% | 21% | 25% | 21% | 25% | 24% | 23% | 21% | 21% | 24% | 24% | 23% | 22% | 22% |
| Bb 41-60 | 10% | 9% | 11% | 9% | 10% | 10% | 10% | 9% | 9% | 10% | 10% | 10% | 9% | 9% |
| Bb 61-80 | 6% | 5% | 7% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% |
| Bb 81-07 | 6% | 6% | 7% | 6% | 7% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% |
| Bb 08-11 | 6% | 6% | 7% | 6% | 7% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.3.c: Escenario 1: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 333% | 344% | 352% | 356% | 334% | 323% | 355% | 339% | 352% | 356% | 347% | 345% | 337% |
| Uu 41-60 | 333% | 344% | 352% | 356% | 334% | 323% | 355% | 339% | 352% | 356% | 347% | 345% | 337% |
| Uu 61-80 | 316% | 327% | 334% | 339% | 317% | 307% | 337% | 322% | 334% | 338% | 330% | 328% | 320% |
| Uu 81-07 | 299% | 309% | 317% | 321% | 300% | 290% | 319% | 305% | 317% | 321% | 312% | 310% | 303% |
| Uu 08-11 | 299% | 309% | 317% | 321% | 300% | 290% | 319% | 305% | 317% | 321% | 312% | 310% | 303% |
| Cc <40 | 147% | 154% | 159% | 162% | 148% | 142% | 161% | 151% | 159% | 161% | 156% | 155% | 150% |
| Cc 41-60 | 147% | 154% | 159% | 162% | 148% | 142% | 161% | 151% | 159% | 161% | 156% | 155% | 150% |
| Cc 61-80 | 137% | 144% | 148% | 151% | 138% | 132% | 150% | 141% | 149% | 151% | 146% | 144% | 139% |
| Cc 81-07 | 126% | 132% | 137% | 139% | 127% | 121% | 138% | 130% | 137% | 139% | 134% | 133% | 128% |
| Cc 08-11 | 126% | 132% | 137% | 139% | 127% | 121% | 138% | 130% | 137% | 139% | 134% | 133% | 128% |
| Bb <40 | 25% | 26% | 28% | 29% | 25% | 23% | 29% | 26% | 28% | 29% | 27% | 27% | 26% |
| Bb 41-60 | 10% | 11% | 12% | 12% | 10% | 10% | 12% | 11% | 12% | 12% | 11% | 11% | 11% |
| Bb 61-80 | 6% | 7% | 7% | 7% | 6% | 6% | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% |
| Bb 81-07 | 7% | 7% | 7% | 8% | 7% | 6% | 7% | 7% | 7% | 8% | 7% | 7% | 7% |
| Bb 08-11 | 7% | 7% | 7% | 8% | 7% | 6% | 7% | 7% | 7% | 8% | 7% | 7% | 7% |

Fuente: elaboración propia.

Tabda Id.4.3.d: Escenario 1: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 344% | 349% | 363% | 345% | 345% | 316% | 357% | 306% | 341% | 360% | 329% |
| Uu 41-60 | 344% | 349% | 363% | 345% | 345% | 316% | 357% | 306% | 341% | 360% | 329% |
| Uu 61-80 | 326% | 332% | 345% | 327% | 328% | 300% | 339% | 291% | 324% | 342% | 313% |
| Uu 81-07 | 309% | 314% | 327% | 310% | 310% | 284% | 322% | 276% | 307% | 324% | 297% |
| Uu 08-11 | 309% | 314% | 327% | 310% | 310% | 284% | 322% | 276% | 307% | 324% | 297% |
| Cc <40 | 154% | 157% | 166% | 155% | 155% | 138% | 162% | 133% | 153% | 164% | 147% |
| Cc 41-60 | 154% | 157% | 166% | 155% | 155% | 138% | 162% | 133% | 153% | 164% | 147% |
| Cc 61-80 | 144% | 147% | 155% | 144% | 145% | 129% | 152% | 124% | 143% | 153% | 137% |
| Cc 81-07 | 132% | 135% | 143% | 133% | 133% | 118% | 140% | 114% | 131% | 142% | 127% |
| Cc 08-11 | 132% | 135% | 143% | 133% | 133% | 118% | 140% | 114% | 131% | 142% | 127% |
| Bb <40 | 27% | 28% | 31% | 27% | 27% | 22% | 30% | 20% | 26% | 30% | 23% |
| Bb 41-60 | 11% | 11% | 13% | 11% | 11% | 9% | 12% | 8% | 11% | 12% | 10% |
| Bb 61-80 | 7% | 7% | 8% | 7% | 7% | 5% | 7% | 5% | 7% | 8% | 6% |
| Bb 81-07 | 7% | 7% | 8% | 7% | 7% | 6% | 8% | 5% | 7% | 8% | 6% |
| Bb 08-11 | 7% | 7% | 8% | 7% | 7% | 6% | 8% | 5% | 7% | 8% | 6% |

Fuente: elaboración propia.

- Escenario 2: uso fotovoltaico básico

  Se presentan tablas con el porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos y la generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos.

Tabla Id.4.4.a: Escenario 2: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 68% | 68% | 66% | 65% | 65% | 72% | 66% | 80% | 75% | 69% | 72% | 72% | 79% | 80% |
| Bb 41-60 | 52% | 51% | 49% | 47% | 47% | 56% | 49% | 65% | 60% | 52% | 56% | 56% | 65% | 66% |
| Bb 61-80 | 41% | 40% | 38% | 36% | 36% | 45% | 38% | 54% | 49% | 42% | 46% | 46% | 54% | 54% |
| Bb 81-07 | 44% | 43% | 41% | 40% | 40% | 48% | 41% | 59% | 53% | 45% | 48% | 49% | 59% | 59% |
| Bb 08-11 | 44% | 43% | 41% | 40% | 40% | 48% | 41% | 59% | 53% | 45% | 48% | 49% | 59% | 59% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.4.b: Escenario 2: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 81% | 77% | 82% | 78% | 82% | 74% | 80% | 78% | 78% | 81% | 81% | 80% | 79% | 82% |
| Bb 41-60 | 66% | 62% | 69% | 63% | 68% | 58% | 66% | 63% | 63% | 67% | 67% | 66% | 65% | 68% |
| Bb 61-80 | 55% | 51% | 57% | 52% | 56% | 48% | 55% | 52% | 52% | 55% | 55% | 55% | 53% | 56% |
| Bb 81-07 | 60% | 55% | 62% | 56% | 62% | 51% | 59% | 56% | 56% | 60% | 60% | 59% | 58% | 62% |
| Bb 08-11 | 60% | 55% | 62% | 56% | 62% | 51% | 59% | 56% | 56% | 60% | 60% | 59% | 58% | 62% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.4.c: Escenario 2: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 82% | 84% | 85% | 86% | 82% | 81% | 86% | 83% | 86% | 86% | 84% | 84% | 82% |
| Bb 41-60 | 68% | 71% | 72% | 73% | 68% | 67% | 73% | 69% | 73% | 73% | 71% | 71% | 69% |
| Bb 61-80 | 56% | 58% | 60% | 60% | 56% | 55% | 60% | 57% | 60% | 60% | 59% | 58% | 57% |
| Bb 81-07 | 61% | 64% | 66% | 67% | 62% | 60% | 66% | 63% | 66% | 66% | 65% | 64% | 62% |
| Bb 08-11 | 61% | 64% | 66% | 67% | 62% | 60% | 66% | 63% | 66% | 66% | 65% | 64% | 62% |

Fuente: elaboración propia.

Tabda Id.4.4.d: Escenario 2: porcentaje de cobertura de las necesidades eléctricas para iluminación y electrodomésticos.

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 84% | 85% | 87% | 84% | 84% | 81% | 87% | 80% | 84% | 87% | 84% |
| Bb 41-60 | 71% | 72% | 75% | 71% | 71% | 67% | 74% | 66% | 71% | 74% | 70% |
| Bb 61-80 | 59% | 60% | 62% | 59% | 59% | 55% | 61% | 54% | 59% | 62% | 58% |
| Bb 81-07 | 64% | 66% | 69% | 65% | 65% | 60% | 68% | 59% | 65% | 68% | 64% |
| Bb 08-11 | 64% | 66% | 69% | 65% | 65% | 60% | 68% | 59% | 65% | 68% | 64% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.5.a: Escenario 2: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 227% | 222% | 211% | 204% | 203% | 248% | 214% | 300% | 266% | 225% | 246% | 248% | 296% | 301% |
| Uu 41-60 | 227% | 222% | 211% | 204% | 203% | 248% | 214% | 300% | 266% | 225% | 246% | 248% | 296% | 301% |
| Uu 61-80 | 214% | 208% | 198% | 191% | 190% | 234% | 200% | 284% | 251% | 211% | 231% | 233% | 280% | 285% |
| Uu 81-07 | 200% | 194% | 185% | 178% | 177% | 219% | 187% | 267% | 236% | 198% | 217% | 219% | 263% | 268% |
| Uu 08-11 | 200% | 194% | 185% | 178% | 177% | 219% | 187% | 267% | 236% | 198% | 217% | 219% | 263% | 268% |
| Cc <40 | 77% | 74% | 68% | 63% | 63% | 89% | 69% | 121% | 101% | 76% | 88% | 90% | 118% | 121% |
| Cc 41-60 | 77% | 74% | 68% | 63% | 63% | 89% | 69% | 121% | 101% | 76% | 88% | 90% | 118% | 121% |
| Cc 61-80 | 70% | 67% | 61% | 56% | 56% | 82% | 62% | 111% | 92% | 69% | 81% | 82% | 110% | 112% |
| Cc 81-07 | 61% | 58% | 52% | 48% | 47% | 72% | 53% | 100% | 82% | 60% | 71% | 73% | 99% | 101% |
| Cc 08-11 | 61% | 58% | 52% | 48% | 47% | 72% | 53% | 100% | 82% | 60% | 71% | 73% | 99% | 101% |
| Bb <40 | 7% | 6% | 4% | 3% | 3% | 10% | 5% | 18% | 12% | 6% | 9% | 9% | 16% | 17% |
| Bb 41-60 | 2% | 2% | 1% | 1% | 1% | 4% | 2% | 7% | 5% | 2% | 4% | 4% | 7% | 7% |
| Bb 61-80 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 1% | 0% | 0% | 0% | 3% | 3% |
| Bb 81-07 | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% | 2% | 1% | 4% | 3% | 1% | 2% | 2% | 4% | 4% |
| Bb 08-11 | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% | 2% | 1% | 4% | 3% | 1% | 2% | 2% | 4% | 4% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.5.b: Escenario 2: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 304% | 285% | 318% | 289% | 317% | 296% | 305% | 287% | 287% | 307% | 308% | 303% | 297% | 305% |
| Uu 41-60 | 304% | 285% | 318% | 289% | 317% | 296% | 305% | 287% | 287% | 307% | 308% | 303% | 297% | 305% |
| Uu 61-80 | 288% | 269% | 301% | 273% | 300% | 278% | 288% | 271% | 271% | 290% | 291% | 286% | 280% | 289% |
| Uu 81-07 | 271% | 253% | 284% | 256% | 282% | 259% | 271% | 256% | 255% | 273% | 274% | 270% | 264% | 273% |
| Uu 08-11 | 271% | 253% | 284% | 256% | 282% | 259% | 271% | 256% | 255% | 273% | 274% | 270% | 264% | 273% |
| Cc <40 | 123% | 111% | 131% | 114% | 130% | 114% | 123% | 113% | 113% | 124% | 125% | 122% | 118% | 125% |
| Cc 41-60 | 123% | 111% | 131% | 114% | 130% | 114% | 123% | 113% | 113% | 124% | 125% | 122% | 118% | 125% |
| Cc 61-80 | 114% | 103% | 122% | 105% | 121% | 103% | 114% | 104% | 104% | 115% | 116% | 113% | 109% | 116% |
| Cc 81-07 | 103% | 92% | 110% | 94% | 109% | 91% | 103% | 94% | 93% | 104% | 105% | 102% | 99% | 105% |
| Cc 08-11 | 103% | 92% | 110% | 94% | 109% | 91% | 103% | 94% | 93% | 104% | 105% | 102% | 99% | 105% |
| Bb <40 | 18% | 15% | 20% | 15% | 20% | 20% | 18% | 15% | 15% | 18% | 18% | 17% | 17% | 17% |
| Bb 41-60 | 7% | 6% | 8% | 6% | 8% | 8% | 7% | 6% | 6% | 7% | 7% | 7% | 7% | 7% |
| Bb 61-80 | 3% | 2% | 4% | 2% | 4% | 4% | 3% | 2% | 2% | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% |
| Bb 81-07 | 4% | 4% | 5% | 4% | 5% | 5% | 4% | 4% | 4% | 5% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Bb 08-11 | 4% | 4% | 5% | 4% | 5% | 5% | 4% | 4% | 4% | 5% | 4% | 4% | 4% | 4% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.5.c: Escenario 2: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 314% | 325% | 333% | 338% | 316% | 305% | 336% | 321% | 333% | 338% | 328% | 327% | 319% |
| Uu 41-60 | 314% | 325% | 333% | 338% | 316% | 305% | 336% | 321% | 333% | 338% | 328% | 327% | 319% |
| Uu 61-80 | 297% | 308% | 316% | 320% | 299% | 288% | 318% | 304% | 316% | 320% | 311% | 309% | 302% |
| Uu 81-07 | 280% | 291% | 298% | 302% | 282% | 272% | 301% | 286% | 298% | 302% | 294% | 292% | 284% |
| Uu 08-11 | 280% | 291% | 298% | 302% | 282% | 272% | 301% | 286% | 298% | 302% | 294% | 292% | 284% |
| Cc <40 | 129% | 136% | 140% | 143% | 130% | 124% | 142% | 133% | 141% | 143% | 138% | 136% | 131% |
| Cc 41-60 | 129% | 136% | 140% | 143% | 130% | 124% | 142% | 133% | 141% | 143% | 138% | 136% | 131% |
| Cc 61-80 | 119% | 126% | 131% | 133% | 120% | 115% | 132% | 123% | 131% | 133% | 128% | 127% | 122% |
| Cc 81-07 | 108% | 115% | 119% | 122% | 109% | 104% | 121% | 112% | 120% | 121% | 116% | 115% | 110% |
| Cc 08-11 | 108% | 115% | 119% | 122% | 109% | 104% | 121% | 112% | 120% | 121% | 116% | 115% | 110% |
| Bb <40 | 19% | 21% | 22% | 22% | 19% | 18% | 22% | 20% | 21% | 22% | 21% | 21% | 20% |
| Bb 41-60 | 8% | 8% | 9% | 9% | 8% | 7% | 9% | 8% | 9% | 9% | 9% | 9% | 8% |
| Bb 61-80 | 4% | 4% | 5% | 5% | 4% | 3% | 5% | 4% | 5% | 5% | 4% | 4% | 4% |
| Bb 81-07 | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 4% | 6% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% |
| Bb 08-11 | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 4% | 6% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% | 5% |

Fuente: elaboración propia.

Tabda Id.4.5.d: Escenario 2: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 325% | 331% | 345% | 327% | 327% | 297% | 339% | 288% | 322% | 342% | 311% |
| Uu 41-60 | 325% | 331% | 345% | 327% | 327% | 297% | 339% | 288% | 322% | 342% | 311% |
| Uu 61-80 | 308% | 313% | 327% | 309% | 310% | 282% | 321% | 273% | 305% | 324% | 295% |
| Uu 81-07 | 291% | 296% | 309% | 292% | 292% | 266% | 304% | 258% | 289% | 306% | 279% |
| Uu 08-11 | 291% | 296% | 309% | 292% | 292% | 266% | 304% | 258% | 289% | 306% | 279% |
| Cc <40 | 136% | 139% | 148% | 137% | 137% | 120% | 144% | 115% | 135% | 146% | 129% |
| Cc 41-60 | 136% | 139% | 148% | 137% | 137% | 120% | 144% | 115% | 135% | 146% | 129% |
| Cc 61-80 | 126% | 130% | 138% | 127% | 127% | 112% | 135% | 107% | 125% | 136% | 120% |
| Cc 81-07 | 115% | 118% | 126% | 116% | 116% | 101% | 123% | 97% | 114% | 124% | 110% |
| Cc 08-11 | 115% | 118% | 126% | 116% | 116% | 101% | 123% | 97% | 114% | 124% | 110% |
| Bb <40 | 21% | 22% | 23% | 21% | 21% | 16% | 23% | 15% | 20% | 23% | 18% |
| Bb 41-60 | 9% | 9% | 10% | 9% | 9% | 7% | 9% | 6% | 8% | 9% | 7% |
| Bb 61-80 | 4% | 5% | 5% | 4% | 4% | 3% | 5% | 2% | 4% | 5% | 3% |
| Bb 81-07 | 5% | 6% | 6% | 5% | 5% | 4% | 6% | 3% | 5% | 6% | 4% |
| Bb 08-11 | 5% | 6% | 6% | 5% | 5% | 4% | 6% | 3% | 5% | 6% | 4% |

Fuente: elaboración propia.

- Escenario 3: uso fotovoltaico ampliado

  Se presentan tablas con el porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción (meses de octubre a mayo: calefacción, iluminación y electrodomésticos), en el periodo restante (meses de junio a septiembre: iluminación y electrodomésticos) y la generación de excedentes eléctricos expresada en porcentaje respecto a la demanda eléctrica para iluminación y electrodomésticos.

Tabla Id.4.6.a: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción (calefacción, iluminación y electrodomésticos).

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 78% | 54% | 68% | 74% | 65% | 83% | 76% | 93% | 54% | 57% | 60% | 75% | 57% | 68% |
| Uu 41-60 | 82% | 57% | 72% | 78% | 69% | 85% | 81% | 95% | 57% | 60% | 64% | 79% | 61% | 72% |
| Uu 61-80 | 81% | 56% | 71% | 77% | 68% | 83% | 80% | 94% | 56% | 59% | 63% | 78% | 60% | 72% |
| Uu 81-07 | 94% | 76% | 86% | 90% | 85% | 97% | 92% | 100% | 78% | 79% | 82% | 92% | 80% | 88% |
| Uu 08-11 | 100% | 88% | 97% | 98% | 97% | 100% | 99% | 100% | 89% | 91% | 94% | 99% | 92% | 98% |
| Cc <40 | 59% | 41% | 51% | 55% | 49% | 63% | 57% | 77% | 41% | 43% | 46% | 56% | 44% | 52% |
| Cc 41-60 | 61% | 42% | 53% | 57% | 51% | 65% | 59% | 79% | 43% | 45% | 48% | 59% | 46% | 54% |
| Cc 61-80 | 74% | 52% | 65% | 69% | 62% | 76% | 71% | 87% | 52% | 55% | 58% | 72% | 56% | 67% |
| Cc 81-07 | 80% | 61% | 72% | 75% | 70% | 82% | 77% | 94% | 61% | 64% | 68% | 77% | 66% | 74% |
| Cc 08-11 | 91% | 72% | 82% | 85% | 80% | 92% | 87% | 100% | 73% | 74% | 78% | 88% | 77% | 86% |
| Bb <40 | 34% | 24% | 30% | 32% | 29% | 36% | 33% | 46% | 25% | 26% | 27% | 33% | 26% | 31% |
| Bb 41-60 | 31% | 21% | 26% | 28% | 25% | 32% | 29% | 41% | 22% | 22% | 24% | 29% | 23% | 28% |
| Bb 61-80 | 27% | 19% | 23% | 25% | 22% | 29% | 26% | 36% | 20% | 20% | 22% | 26% | 21% | 25% |
| Bb 81-07 | 40% | 28% | 34% | 36% | 33% | 42% | 38% | 52% | 29% | 30% | 32% | 38% | 31% | 37% |
| Bb 08-11 | 46% | 34% | 41% | 41% | 39% | 48% | 44% | 60% | 35% | 36% | 38% | 44% | 38% | 45% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.6.b: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción (calefacción, iluminación y electrodomésticos).

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 70% | 84% | 81% | 60% | 85% | 75% | 67% | 64% | 60% | 94% | 69% | 72% | 60% | 100% |
| Uu 41-60 | 74% | 86% | 84% | 63% | 87% | 79% | 71% | 68% | 63% | 97% | 73% | 76% | 64% | 100% |
| Uu 61-80 | 73% | 84% | 82% | 63% | 85% | 77% | 71% | 67% | 63% | 96% | 72% | 75% | 63% | 100% |
| Uu 81-07 | 89% | 97% | 96% | 82% | 97% | 88% | 87% | 85% | 82% | 100% | 89% | 90% | 82% | 100% |
| Uu 08-11 | 98% | 100% | 100% | 95% | 100% | 98% | 98% | 97% | 95% | 100% | 98% | 99% | 95% | 100% |
| Cc <40 | 53% | 64% | 61% | 45% | 66% | 56% | 51% | 49% | 45% | 78% | 53% | 54% | 46% | 98% |
| Cc 41-60 | 55% | 67% | 64% | 48% | 69% | 58% | 54% | 51% | 47% | 80% | 55% | 57% | 48% | 99% |
| Cc 61-80 | 68% | 77% | 76% | 58% | 78% | 69% | 66% | 63% | 58% | 89% | 68% | 70% | 59% | 100% |
| Cc 81-07 | 76% | 84% | 83% | 68% | 86% | 74% | 74% | 72% | 68% | 95% | 75% | 77% | 69% | 100% |
| Cc 08-11 | 88% | 94% | 94% | 79% | 96% | 85% | 86% | 83% | 79% | 100% | 88% | 89% | 80% | 100% |
| Bb <40 | 32% | 38% | 37% | 28% | 39% | 33% | 31% | 29% | 28% | 47% | 32% | 33% | 28% | 68% |
| Bb 41-60 | 28% | 34% | 33% | 24% | 34% | 28% | 27% | 26% | 24% | 42% | 28% | 29% | 24% | 63% |
| Bb 61-80 | 26% | 30% | 29% | 22% | 31% | 26% | 25% | 24% | 22% | 37% | 26% | 26% | 22% | 54% |
| Bb 81-07 | 38% | 44% | 43% | 33% | 45% | 37% | 37% | 35% | 33% | 54% | 38% | 39% | 33% | 69% |
| Bb 08-11 | 46% | 51% | 51% | 39% | 53% | 44% | 44% | 42% | 39% | 62% | 46% | 46% | 40% | 74% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.6.c: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción (calefacción, iluminación y electrodomésticos).

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 87% | 100% | 91% | 76% | 100% | 98% | 85% | 100% | 100% | 88% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 89% | 100% | 93% | 80% | 100% | 100% | 87% | 100% | 100% | 90% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 99% | 87% | 99% | 92% | 79% | 100% | 98% | 86% | 100% | 100% | 89% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 98% | 100% | 100% | 93% | 100% | 100% | 98% | 100% | 100% | 99% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 87% | 69% | 86% | 76% | 57% | 91% | 82% | 66% | 97% | 94% | 71% | 95% | 93% |
| Cc 41-60 | 89% | 72% | 88% | 78% | 60% | 93% | 84% | 69% | 98% | 95% | 74% | 96% | 95% |
| Cc 61-80 | 96% | 81% | 96% | 87% | 73% | 99% | 93% | 79% | 100% | 100% | 82% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 89% | 100% | 94% | 80% | 100% | 99% | 87% | 100% | 100% | 91% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 98% | 100% | 100% | 91% | 100% | 100% | 97% | 100% | 100% | 99% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 55% | 41% | 54% | 44% | 34% | 58% | 51% | 39% | 67% | 62% | 42% | 63% | 60% |
| Bb 41-60 | 50% | 36% | 49% | 40% | 31% | 54% | 46% | 35% | 63% | 56% | 37% | 58% | 55% |
| Bb 61-80 | 44% | 33% | 43% | 36% | 28% | 46% | 41% | 31% | 54% | 49% | 34% | 50% | 48% |
| Bb 81-07 | 61% | 48% | 61% | 52% | 41% | 64% | 59% | 46% | 71% | 67% | 49% | 68% | 65% |
| Bb 08-11 | 68% | 56% | 67% | 61% | 49% | 69% | 66% | 54% | 77% | 73% | 57% | 74% | 70% |

Fuente: elaboración propia.

Tabda Id.4.6.d: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de calefacción (calefacción, iluminación y electrodomésticos).

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 83% | 84% | 100% | 97% | 92% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 85% | 86% | 100% | 99% | 94% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 83% | 84% | 100% | 98% | 93% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 97% | 97% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 63% | 65% | 100% | 81% | 76% | 100% | 95% | 100% | 100% | 96% | 100% |
| Cc 41-60 | 65% | 68% | 100% | 83% | 78% | 100% | 96% | 100% | 100% | 97% | 100% |
| Cc 61-80 | 77% | 78% | 100% | 92% | 87% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 84% | 86% | 100% | 98% | 94% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 95% | 96% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 37% | 39% | 75% | 50% | 45% | 89% | 63% | 93% | 94% | 66% | 94% |
| Bb 41-60 | 33% | 34% | 68% | 45% | 41% | 79% | 59% | 85% | 86% | 60% | 86% |
| Bb 61-80 | 30% | 31% | 60% | 40% | 36% | 69% | 51% | 73% | 74% | 52% | 74% |
| Bb 81-07 | 45% | 46% | 77% | 56% | 52% | 76% | 69% | 81% | 83% | 69% | 83% |
| Bb 08-11 | 53% | 54% | 82% | 63% | 60% | 76% | 75% | 81% | 83% | 75% | 83% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.7.a: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de no calefacción (iluminación y electrodomésticos).

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 95% | 95% | 89% | 90% | 90% | 97% | 92% | 99% | 99% | 95% | 97% | 98% | 98% | 100% |
| Bb 41-60 | 88% | 87% | 79% | 80% | 80% | 92% | 82% | 96% | 98% | 88% | 92% | 94% | 96% | 100% |
| Bb 61-80 | 76% | 75% | 68% | 69% | 69% | 81% | 71% | 85% | 86% | 77% | 81% | 82% | 84% | 90% |
| Bb 81-07 | 85% | 84% | 75% | 76% | 77% | 90% | 79% | 94% | 96% | 85% | 90% | 91% | 94% | 100% |
| Bb 08-11 | 85% | 84% | 75% | 76% | 77% | 90% | 79% | 94% | 96% | 85% | 90% | 91% | 94% | 100% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.7.b: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de no calefacción (iluminación y electrodomésticos).

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 100% | 97% | 100% | 100% | 100% | 98% | 100% | 100% | 99% | 99% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb 41-60 | 100% | 93% | 100% | 100% | 100% | 94% | 100% | 100% | 98% | 97% | 99% | 100% | 100% | 100% |
| Bb 61-80 | 89% | 82% | 90% | 88% | 90% | 83% | 90% | 88% | 87% | 86% | 88% | 90% | 88% | 90% |
| Bb 81-07 | 100% | 91% | 100% | 98% | 100% | 92% | 100% | 98% | 96% | 96% | 98% | 100% | 98% | 100% |
| Bb 08-11 | 100% | 91% | 100% | 98% | 100% | 92% | 100% | 98% | 96% | 96% | 98% | 100% | 98% | 100% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.7.c: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de no calefacción (iluminación y electrodomésticos).

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb <40 | 99% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb 41-60 | 98% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Bb 61-80 | 87% | 92% | 93% | 92% | 91% | 88% | 92% | 92% | 91% | 90% | 93% | 89% | 90% |
| Bb 81-07 | 96% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 100% |
| Bb 08-11 | 96% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 100% |

Fuente: elaboración propia.

Tabda Id.4.7.d: Escenario 3: porcentaje de cobertura de las necesidades energéticas en el periodo de no calefacción (iluminación y electrodomésticos).

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Uu 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc <40 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 41-60 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 61-80 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 81-07 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Cc 08-11 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 95% | 99% | 100% | |
| 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 100% | 87% | 98% | 100% | |
| 89% | 91% | 90% | 91% | 92% | 92% | 88% | 92% | 76% | 87% | 93% | |
| 99% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 100% | 85% | 96% | 100% | |
| 99% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 100% | 85% | 96% | 100% | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.8.a: Escenario 3: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | A Coruña | Álava | Asturias | Bizkaia | Gipuzkoa | Pontevedra | Santander | Barcelona | Burgos | Lugo | Navarra | Ourense | Palencia | Valladolid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 121% | 128% | 112% | 114% | 115% | 142% | 119% | 185% | 154% | 131% | 141% | 144% | 149% | 164% |
| Uu 41-60 | 121% | 128% | 112% | 114% | 115% | 149% | 119% | 191% | 154% | 131% | 141% | 144% | 149% | 164% |
| Uu 61-80 | 116% | 121% | 105% | 107% | 108% | 143% | 112% | 181% | 146% | 124% | 134% | 136% | 141% | 155% |
| Uu 81-07 | 134% | 114% | 118% | 124% | 117% | 161% | 132% | 210% | 138% | 121% | 137% | 154% | 140% | 171% |
| Uu 08-11 | 157% | 133% | 138% | 145% | 134% | 190% | 155% | 240% | 161% | 141% | 156% | 179% | 162% | 198% |
| Cc <40 | 55% | 58% | 49% | 50% | 50% | 66% | 53% | 77% | 73% | 60% | 66% | 68% | 70% | 79% |
| Cc 41-60 | 55% | 58% | 49% | 50% | 50% | 66% | 53% | 79% | 73% | 60% | 66% | 68% | 70% | 79% |
| Cc 61-80 | 53% | 54% | 45% | 46% | 46% | 66% | 49% | 83% | 68% | 56% | 61% | 63% | 65% | 74% |
| Cc 81-07 | 54% | 49% | 44% | 47% | 44% | 66% | 51% | 83% | 63% | 51% | 56% | 64% | 60% | 74% |
| Cc 08-11 | 59% | 52% | 50% | 52% | 50% | 72% | 56% | 94% | 67% | 56% | 63% | 70% | 67% | 81% |
| Bb <40 | 11% | 12% | 10% | 10% | 10% | 15% | 11% | 18% | 18% | 13% | 15% | 16% | 17% | 21% |
| Bb 41-60 | 5% | 5% | 4% | 4% | 4% | 6% | 4% | 8% | 8% | 5% | 6% | 7% | 7% | 9% |
| Bb 61-80 | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% | 4% | 3% | 5% | 5% | 4% | 4% | 4% | 5% | 6% |
| Bb 81-07 | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% | 4% | 3% | 5% | 5% | 3% | 4% | 4% | 5% | 6% |
| Bb 08-11 | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% | 4% | 3% | 5% | 5% | 3% | 4% | 4% | 5% | 6% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.8.b: Escenario 3: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Cuenca | Girona | Huesca | León | Lleida | Logroño | Salamanca | Segovia | Soria | Tarragona | Teruel | Zamora | Ávila | Cádiz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 163% | 149% | 165% | 160% | 171% | 163% | 164% | 159% | 155% | 190% | 158% | 165% | 159% | 263% |
| Uu 41-60 | 163% | 156% | 169% | 160% | 179% | 163% | 164% | 159% | 155% | 196% | 158% | 165% | 159% | 270% |
| Uu 61-80 | 154% | 150% | 163% | 152% | 171% | 157% | 156% | 150% | 147% | 186% | 150% | 156% | 151% | 256% |
| Uu 81-07 | 171% | 174% | 188% | 154% | 196% | 180% | 170% | 159% | 150% | 217% | 168% | 175% | 155% | 270% |
| Uu 08-11 | 200% | 207% | 225% | 176% | 232% | 204% | 197% | 183% | 173% | 248% | 198% | 205% | 178% | 285% |
| Cc <40 | 78% | 68% | 80% | 77% | 79% | 77% | 79% | 76% | 74% | 79% | 76% | 80% | 76% | 109% |
| Cc 41-60 | 78% | 68% | 80% | 77% | 79% | 77% | 79% | 76% | 74% | 82% | 76% | 80% | 76% | 112% |
| Cc 61-80 | 73% | 70% | 80% | 71% | 82% | 74% | 74% | 71% | 69% | 85% | 71% | 74% | 71% | 118% |
| Cc 81-07 | 74% | 70% | 80% | 66% | 82% | 75% | 73% | 68% | 63% | 86% | 71% | 76% | 66% | 117% |
| Cc 08-11 | 81% | 79% | 89% | 74% | 91% | 81% | 81% | 76% | 72% | 99% | 79% | 83% | 75% | 124% |
| Bb <40 | 21% | 17% | 21% | 20% | 21% | 20% | 21% | 20% | 19% | 18% | 19% | 21% | 20% | 19% |
| Bb 41-60 | 9% | 7% | 9% | 8% | 9% | 9% | 9% | 8% | 8% | 8% | 8% | 9% | 8% | 9% |
| Bb 61-80 | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 5% |
| Bb 81-07 | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% | 5% | 5% | 6% | 5% | 7% |
| Bb 08-11 | 6% | 5% | 6% | 5% | 6% | 6% | 6% | 5% | 5% | 6% | 5% | 6% | 5% | 8% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.8.c: Escenario 3: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Castellón | Ciudad Real | Córdoba | Granada | Guadalajara | Ilhes Balears | Jaén | Madrid | Málaga | Murcia | Toledo | Valencia | Zaragoza |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 218% | 182% | 230% | 195% | 168% | 231% | 215% | 176% | 273% | 255% | 188% | 256% | 248% |
| Uu 41-60 | 228% | 189% | 240% | 202% | 168% | 240% | 223% | 184% | 280% | 264% | 195% | 264% | 256% |
| Uu 61-80 | 216% | 181% | 228% | 193% | 159% | 226% | 213% | 176% | 266% | 250% | 186% | 250% | 242% |
| Uu 81-07 | 244% | 208% | 258% | 226% | 184% | 250% | 247% | 202% | 285% | 275% | 214% | 271% | 264% |
| Uu 08-11 | 270% | 244% | 284% | 262% | 217% | 272% | 277% | 238% | 304% | 297% | 250% | 292% | 284% |
| Cc <40 | 91% | 82% | 99% | 83% | 81% | 94% | 93% | 82% | 113% | 104% | 83% | 104% | 102% |
| Cc 41-60 | 93% | 82% | 101% | 86% | 81% | 96% | 96% | 82% | 116% | 107% | 83% | 107% | 104% |
| Cc 61-80 | 97% | 87% | 106% | 92% | 78% | 101% | 99% | 85% | 124% | 114% | 89% | 114% | 109% |
| Cc 81-07 | 99% | 86% | 106% | 92% | 80% | 104% | 100% | 85% | 124% | 116% | 88% | 115% | 111% |
| Cc 08-11 | 113% | 97% | 121% | 106% | 87% | 115% | 117% | 95% | 135% | 130% | 99% | 127% | 122% |
| Bb <40 | 19% | 23% | 24% | 23% | 22% | 19% | 23% | 23% | 22% | 22% | 23% | 20% | 21% |
| Bb 41-60 | 8% | 11% | 11% | 11% | 10% | 8% | 11% | 11% | 10% | 10% | 11% | 9% | 9% |
| Bb 61-80 | 5% | 6% | 7% | 6% | 6% | 5% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% |
| Bb 81-07 | 6% | 7% | 8% | 7% | 7% | 6% | 7% | 7% | 9% | 8% | 7% | 7% | 7% |
| Bb 08-11 | 7% | 7% | 9% | 8% | 7% | 7% | 9% | 7% | 9% | 9% | 7% | 8% | 8% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla Id.4.8.d: Escenario 3: generación de excedentes eléctricos expresada como porcentaje respecto a la demanda de electricidad para iluminación y electrodomésticos.

| | Albacete | Alicante | Almería | Badajoz | Cáceres | Ceuta | Huelva | Las Palmas | Melilla | Sevilla | Sta. Cruz de Tenerife |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uu <40 | 166% | 166% | 300% | 212% | 199% | 323% | 264% | 314% | 348% | 274% | 337% |
| Uu 41-60 | 172% | 175% | 307% | 217% | 206% | 323% | 273% | 314% | 348% | 282% | 337% |
| Uu 61-80 | 166% | 168% | 291% | 207% | 196% | 307% | 258% | 299% | 331% | 267% | 321% |
| Uu 81-07 | 193% | 197% | 303% | 240% | 226% | 291% | 281% | 284% | 314% | 286% | 305% |
| Uu 08-11 | 231% | 236% | 319% | 269% | 259% | 291% | 302% | 284% | 314% | 306% | 305% |
| Cc <40 | 80% | 79% | 128% | 92% | 86% | 146% | 109% | 141% | 161% | 113% | 155% |
| Cc 41-60 | 80% | 79% | 131% | 94% | 88% | 146% | 112% | 141% | 161% | 116% | 155% |
| Cc 61-80 | 81% | 82% | 137% | 96% | 93% | 136% | 120% | 132% | 150% | 123% | 145% |
| Cc 81-07 | 82% | 82% | 135% | 97% | 92% | 125% | 122% | 121% | 139% | 124% | 134% |
| Cc 08-11 | 92% | 93% | 143% | 112% | 105% | 125% | 133% | 121% | 139% | 135% | 134% |
| Bb <40 | 22% | 21% | 23% | 23% | 23% | 27% | 23% | 23% | 30% | 23% | 28% |
| Bb 41-60 | 10% | 9% | 12% | 11% | 11% | 11% | 11% | 9% | 13% | 11% | 12% |
| Bb 61-80 | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 6% | 8% | 6% | 7% |
| Bb 81-07 | 6% | 6% | 10% | 7% | 7% | 7% | 9% | 6% | 8% | 9% | 8% |
| Bb 08-11 | 6% | 6% | 10% | 8% | 8% | 7% | 10% | 6% | 8% | 10% | 8% |

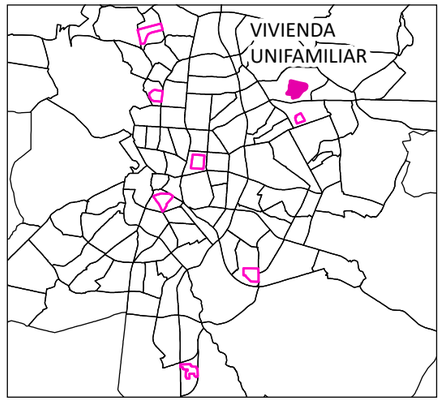
Fuente: elaboración propia.

# ANEXO II: MAPAS DE CARACTERIZACIÓN Y CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR POR TEJIDOS URBANOS

# II.a Vivienda unifamiliar aislada

## Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

- Parcelas según Catastro
- Construcciones según Catastro
- Edificaciones consideradas
- Parcelas consideradas*
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

0 30 60 120 Metros

N

**VU01** VIV. UNIFAMILIAR — Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · adio.com
Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · 40 · Instituto de Energía Solar

# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

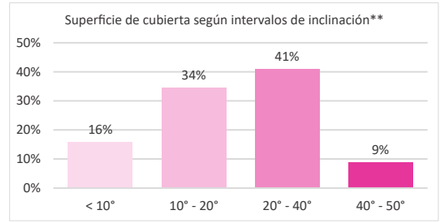
Construcciones según Catastro

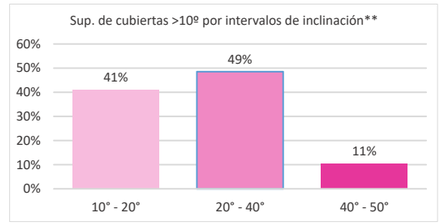
Edificaciones consideradas*

Parcelas consideradas*

Inclinación en cubierta**

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

** Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

0 30 60 120 Metros

N

VU02
VIV. UNIFAMILIAR

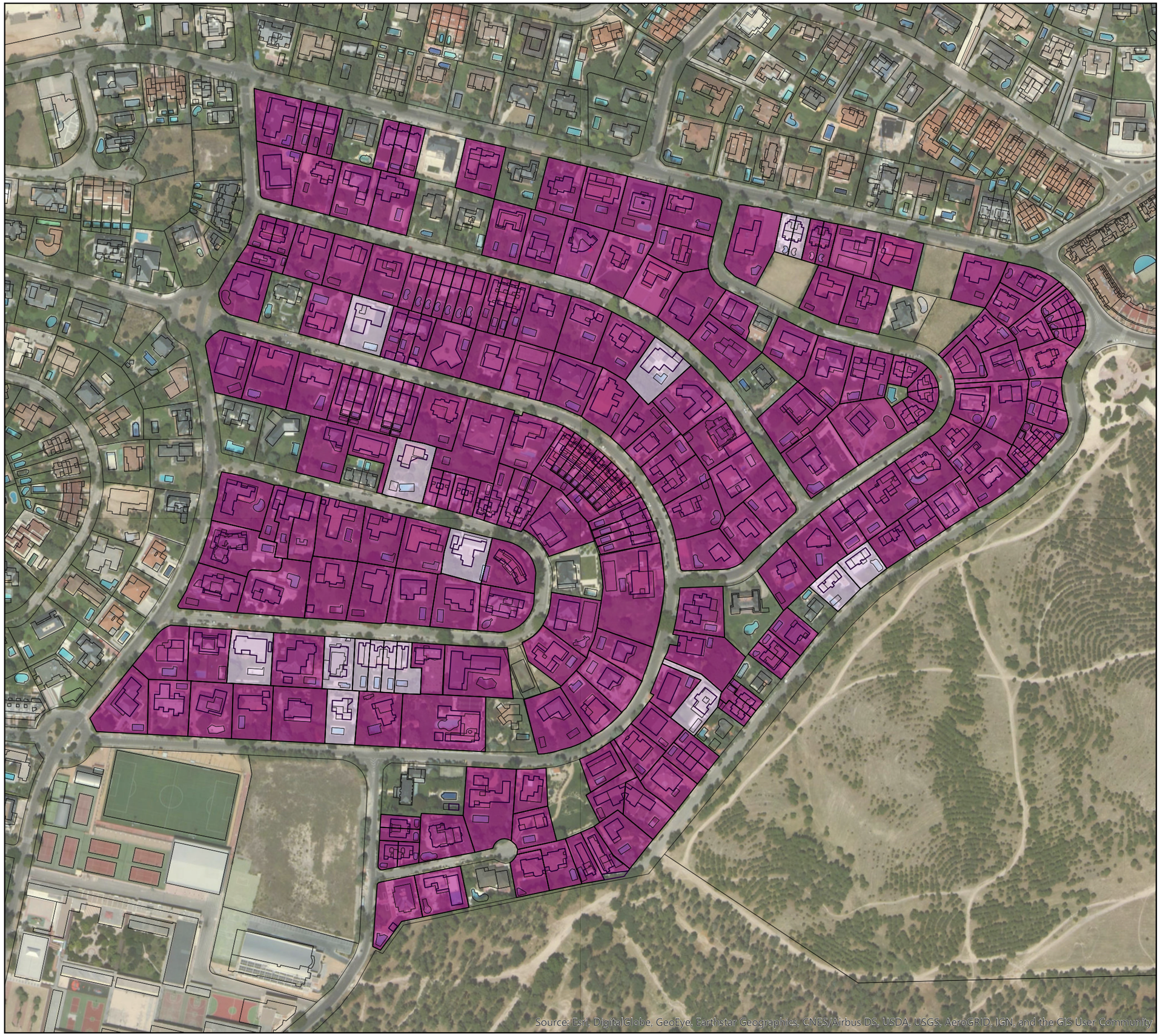
## Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut+s (UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community




## Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

- Construcciones según Catastro
- Edificaciones consideradas*
- Parcelas consideradas*

Tipo de cubierta

- Inclinada
- Plana

* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

0 30 60 120 Metros

N

**VU03** VIV. UNIFAMILIAR

# Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) adio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

Construcciones según Catastro

Edificaciones consideradas*

Parcelas consideradas*

Orientación de cubierta

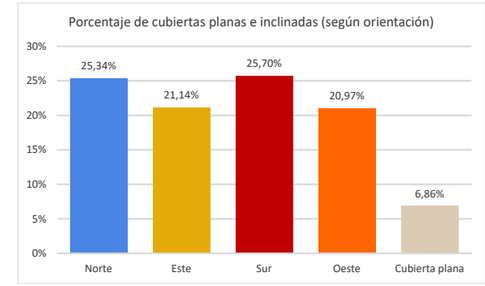
Inclinada Norte (315º - 45º)

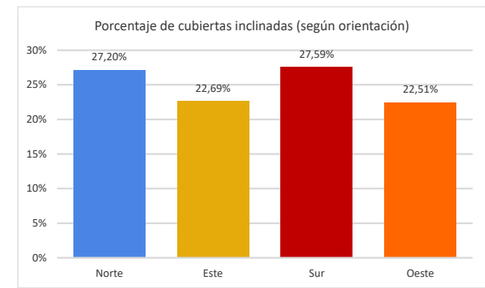
Inclinada Este (45º - 135º)

Inclinada Sur (135º - 225º)

Oeste (225º - 315º)

Plana




* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

N

0 30 60 120 Metros

VU04
VIV. UNIFAMILIAR

## Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · adio.upm · Gobierno de España, Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

Construcciones según Catastro

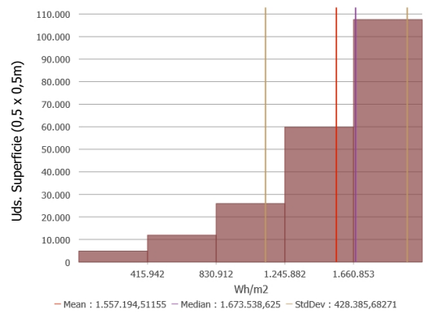
Edificaciones consideradas

Parcelas consideradas

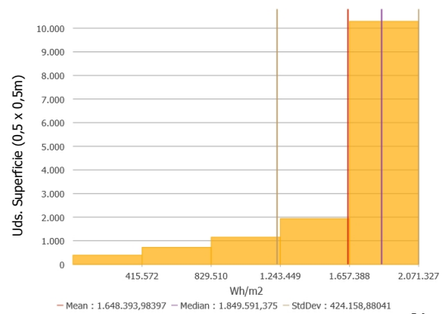
Irradiación anual

- <= 432 kWh/m2
- <= 758 kWh/m2
- <= 1.035 kWh/m2
- <= 1.278 kWh/m2
- <= 1.498 kWh/m2
- <= 1.702 kWh/m2
- <= 1.889 kWh/m2
- <= 2.076 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual en cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




0 30 60 120 Metros

N

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## VU05
VIV. UNIFAMILIAR

## Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giaut+s (UPM) · GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

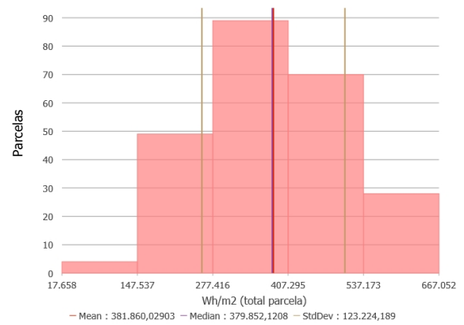
# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

- Construcciones según Catastro
- Edificaciones consideradas*
- Parcelas consideradas*

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤ 216 kWh/m2
- ≤ 305 kWh/m2
- ≤ 382 kWh/m2
- ≤ 446 kWh/m2
- ≤ 531 kWh/m2
- ≤ 667 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

N

0 30 60 Metros 120

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

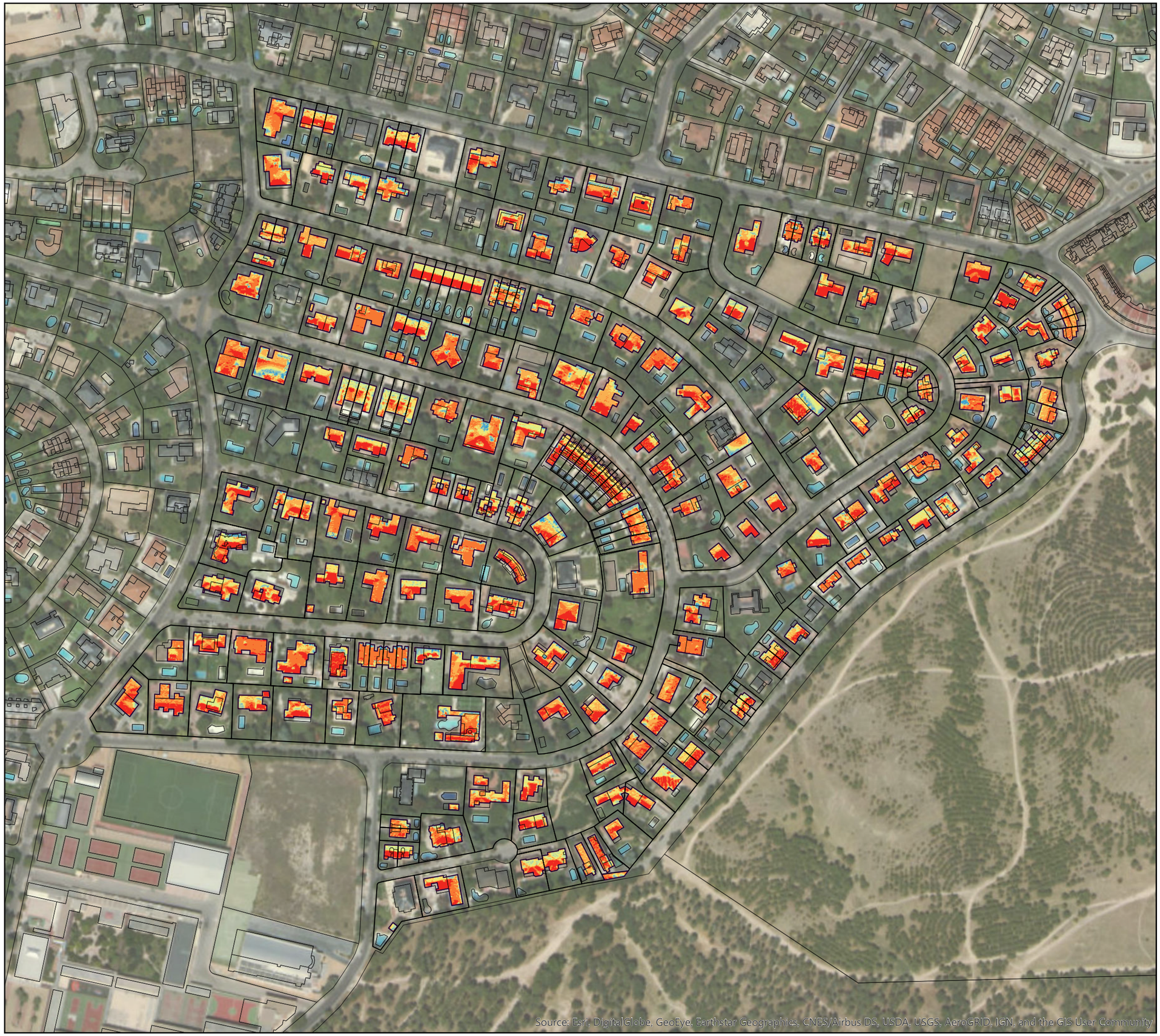
**VU06** VIV. UNIFAMILIAR

## Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus (UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR



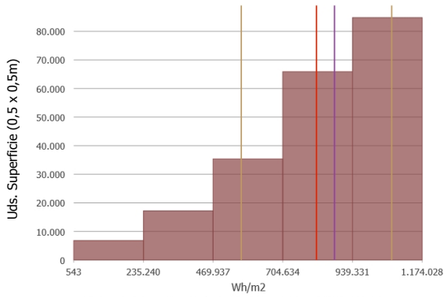

## Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

- Construcciones según Catastro
- Edificaciones consideradas
- Parcelas consideradas

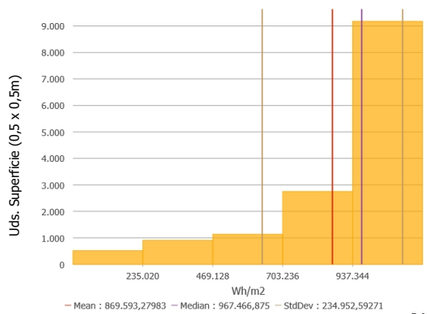
Irradiación solar de octubre a mayo

- <= 147 kWh/m2
- <= 294 kWh/m2
- <= 441 kWh/m2
- <= 587 kWh/m2
- <= 734 kWh/m2
- <= 881 kWh/m2
- <= 1.027 kWh/m2
- <= 1.174 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual en cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




0 30 60 120 Metros

N

# VU07
VIV. UNIFAMILIAR

## Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giaus (UPM) · GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

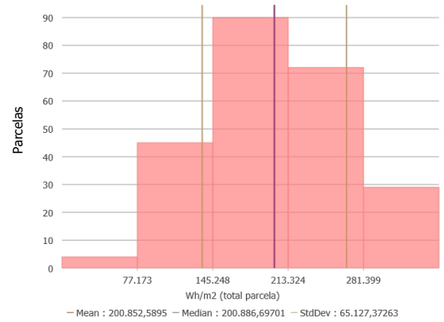
# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

- Construcciones según Catastro
- Edificaciones consideradas*
- Parcelas consideradas*

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤ 112 kWh/m2
- ≤ 165 kWh/m2
- ≤ 209 kWh/m2
- ≤ 252 kWh/m2
- ≤ 296 kWh/m2
- ≤ 350 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

N

0 30 60 120 Metros

**VU08** VIV. UNIFAMILIAR

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus (UPM) abio

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

Construcciones según Catastro

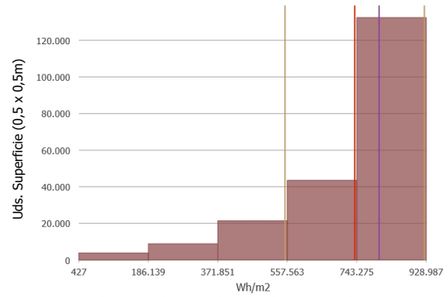
Edificaciones consideradas

Parcelas consideradas

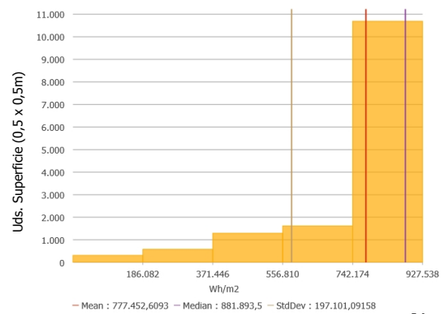
Irradiación solar de junio a septiembre

- <= 201 kWh/m2
- <= 354 kWh/m2
- <= 478 kWh/m2
- <= 587 kWh/m2
- <= 689 kWh/m2
- <= 780 kWh/m2
- <= 860 kWh/m2
- <= 929 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual en cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




0 30 60 120 Metros

N

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

**VU09**
VIV. UNIFAMILIAR

## Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

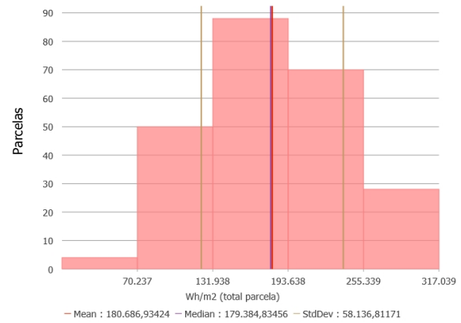
# Tejido urbano: Vivienda Unifamiliar

- Construcciones según Catastro
- Edificaciones consideradas*
- Parcelas consideradas*

Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre

- ≤ 99 kWh/m2
- ≤ 144 kWh/m2
- ≤ 177 kWh/m2
- ≤ 204 kWh/m2
- ≤ 251 kWh/m2
- ≤ 317 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




* Se han considerado sólo aquellas parcelas en las que existía datos LIDAR de suficiente calidad para realizar el análisis con precisión.

N

0 30 60 120 Metros

**VU10**
VIV. UNIFAMILIAR

Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.upm

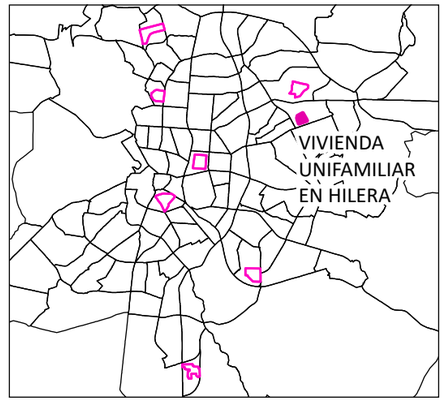
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# II.b. Vivienda unifamiliar en hilera

## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

- Parcelas según Catastro
- Construcciones según Catastro
- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Área de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 20 40 80 Metros

N

**VUh01** VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut+s (UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

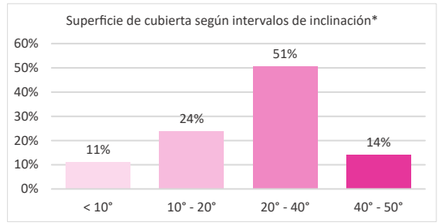
# Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

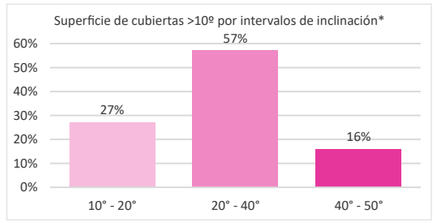
Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Inclinación en cubierta*

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

**VUh02** VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Tipo de cubierta

Inclinada

Plana

0 20 40 80 Metros

N

**VUh03** VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut+s (UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

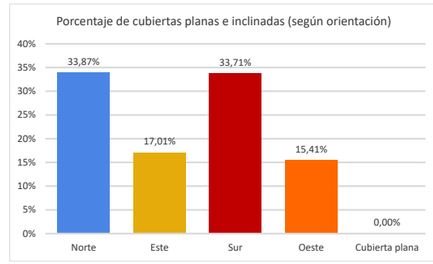
# Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

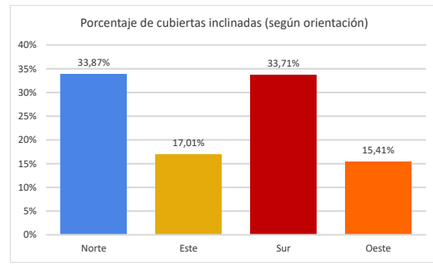
Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Orientación de cubierta

- Inclinada Norte (315º - 45º)
- Inclinada Este (45º - 135º)
- Inclinada Sur (135º - 225º)
- Oeste (225º - 315º)
- Plana



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

**VUh04** VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.upm · Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · 40 · Instituto de Energía Solar

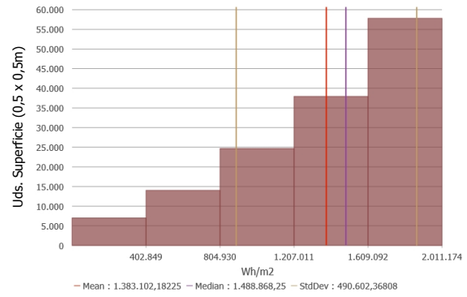
## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Construcciones según Catastro

Irradiación anual

- <= 340 kW/m2
- <= 624 kW/m2
- <= 884 kW/m2
- <= 1.120 kW/m2
- <= 1.341 kW/m2
- <= 1.562 kW/m2
- <= 1.790 kW/m2
- <= 2.011 kW/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta



# VUh05

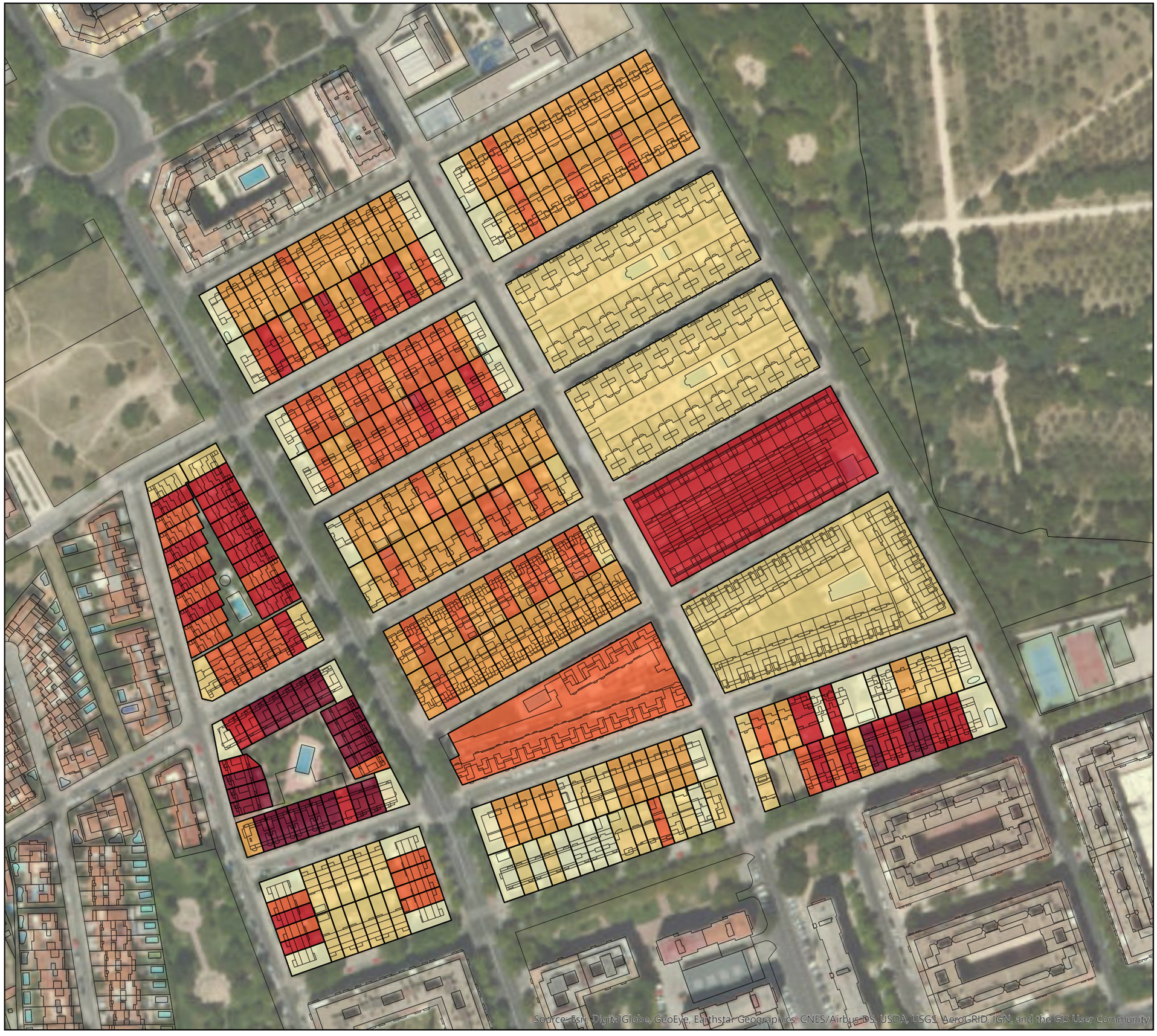
VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · ABIO

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

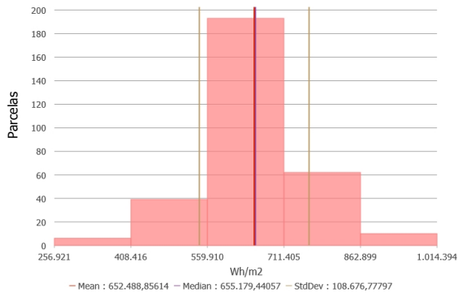
Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤499 kWh/m2
- ≤603 kWh/m2
- ≤666 kWh/m2
- ≤719 kWh/m2
- ≤801 kWh/m2
- ≤1.014 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




N

0 20 40 80 Metros

# VUh06

VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

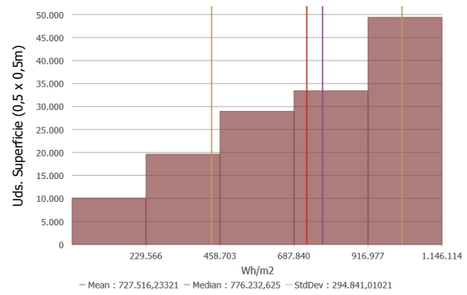
## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Construcciones según Catastro

Irradiación solar de octubre a mayo

- <= 185 kW/m2
- <= 333 kW/m2
- <= 472 kW/m2
- <= 607 kW/m2
- <= 742 kW/m2
- <= 877 kW/m2
- <= 1.007 kW/m2
- <= 1.146 kW/m2

Histograma de Irradiación solar por unidad de cubierta, de octubre a mayo




0 20 40 Metros 80

N

# VUh07

VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) adio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

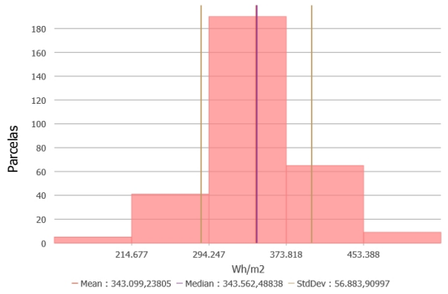
## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤267 kW/m2
- ≤318 kW/m2
- ≤348 kW/m2
- ≤375 kW/m2
- ≤421 kW/m2
- ≤533 kW/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo




Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

N

0 20 40 80 Metros

# VUh08

VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT
giau+s (UPM)
adio
GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO
POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

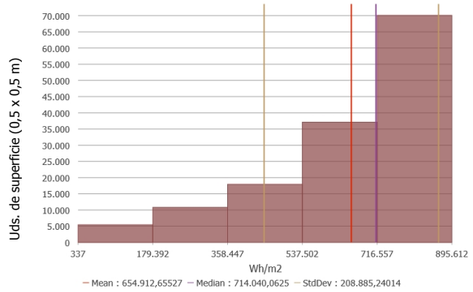
Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Value

- <= 154,816 kW/m2
- <= 288,230 kW/m2
- <= 407.599 kW/m2
- <= 519.948 kW/m2
- <= 621.763 kW/m2
- <= 720.068 kW/m2
- <= 811.351 kW/m2
- <= 895.612 kW/m2

Histograma de Irradiación solar por unidad de cubierta, de junio a septiembre




0 20 40 80 Metros

N

# VUh09

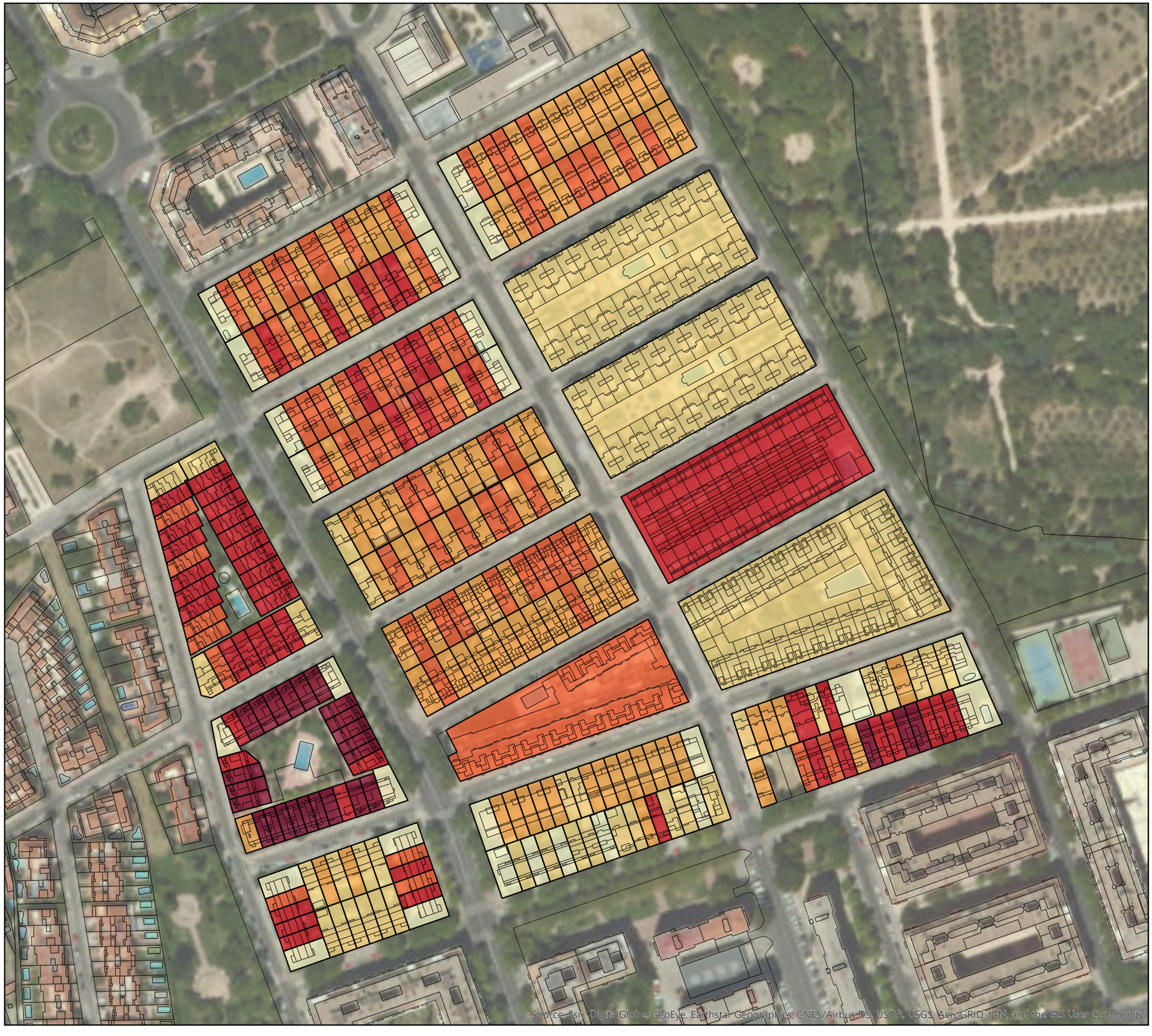
VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.wm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: Viv. Unif. en Hilera

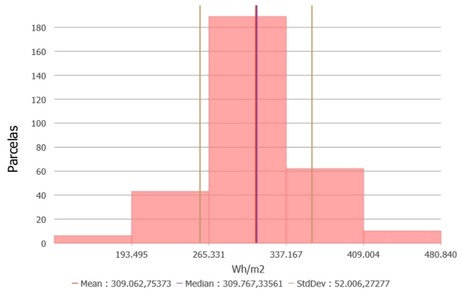
Parcelas consideradas en el área de estudio

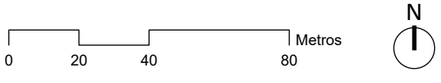
Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de junio a sept.

- ≤229 kW/m2
- ≤278 kW/m2
- ≤310 kW/m2
- ≤334 kW/m2
- ≤378 kW/m2
- ≤481 kW/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre




# VUh10

VIVIENDA UNIFAMILIAR EN HILERA

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

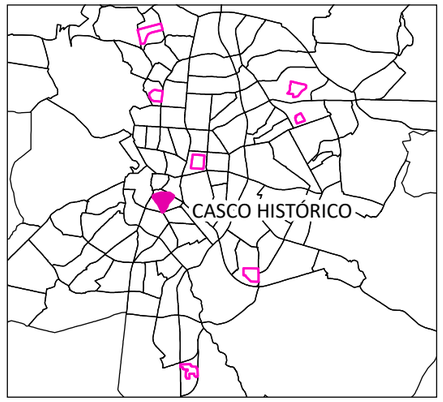
Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT
giau+s (UPM)
GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# II.c. Casco histórico

## Tejido urbano: Casco histórico

- Construcciones según Catastro
- Parcelas área de estudio
- Manzanas área de estudio
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 30 60 120 Metros

N

**CH01** CASCO HISTÓRICO

# Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut-s (UPM) abio.com
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

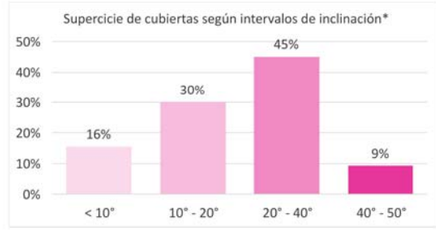
## Tejido urbano: Casco histórico

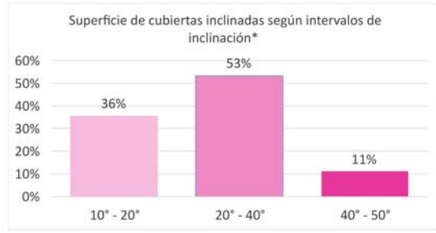
Parcelas

Construcciones según Catastro

Inclinación en cubierta*

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

0 30 60 120 Metros

N

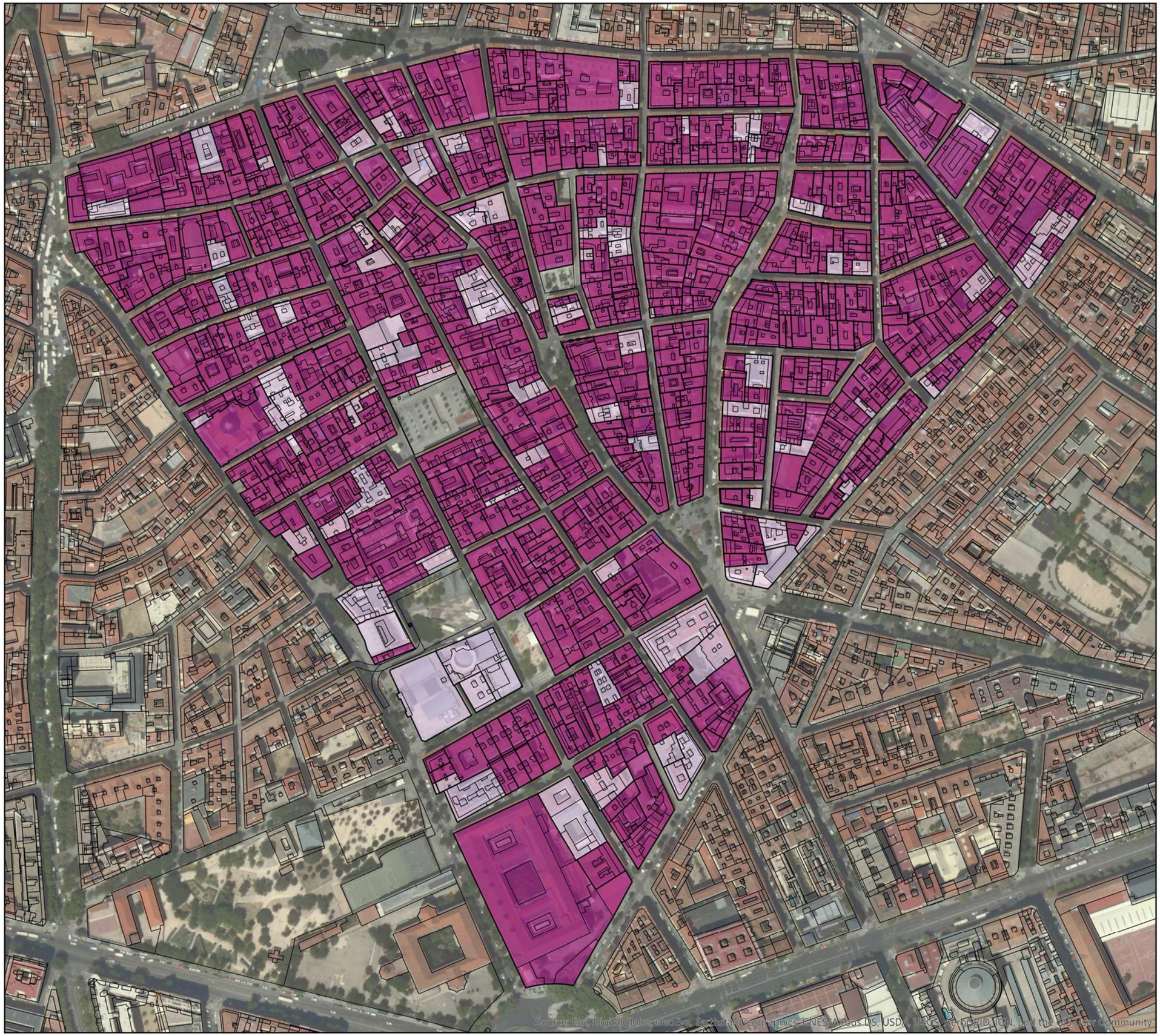
**CH02** CASCO HISTÓRICO — Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community




## Tejido urbano: Casco histórico

Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

Tipo de cubierta

Inclinada

Plana

0 30 60 120 Metros

N

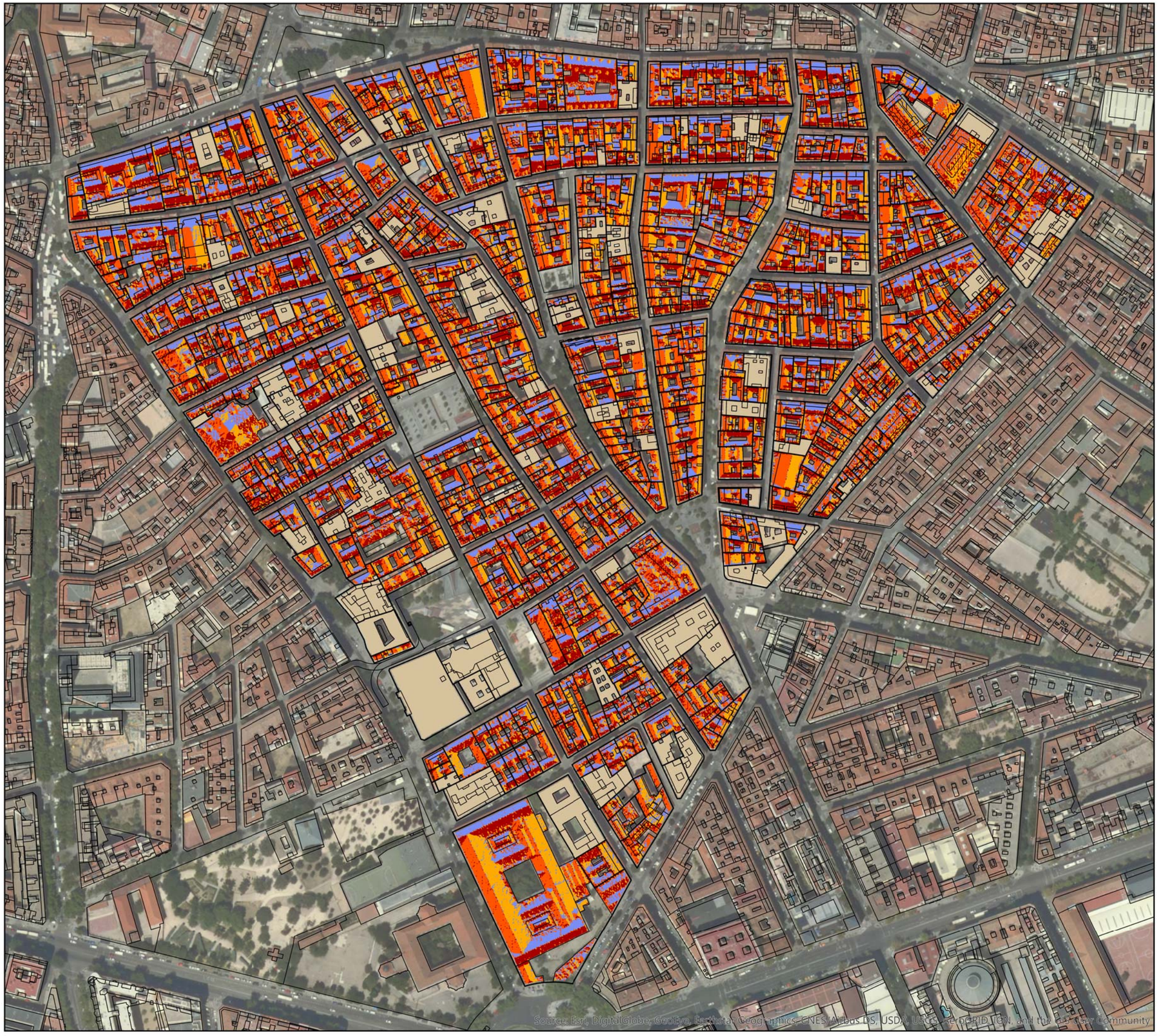
**CH03** CASCO HISTÓRICO

# Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR



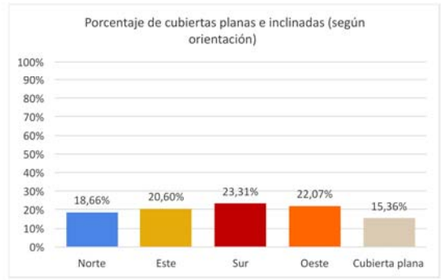

## Tejido urbano: Casco histórico

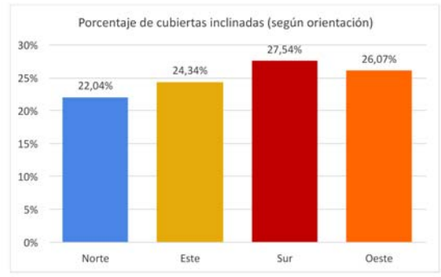
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

Orientación de cubiertas

- Inclinada Norte (315º - 45º)
- Inclinada Este (45º - 135º)
- Inclinada Sur (135º - 225º)
- Oeste (225º - 315º)
- Plana




0 30 60 120 Metros

N

**CH04** CASCO HISTÓRICO

# Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Casco histórico

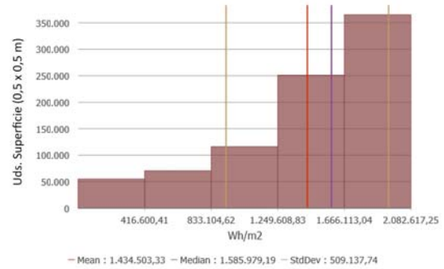
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

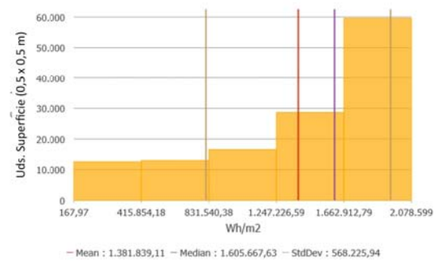
Irradiación

- ≤ 285 kWh/m2
- ≤ 612 kWh/m2
- ≤ 914 kWh/m2
- ≤ 1.184 kWh/m2
- ≤ 1.429 kWh/m2
- ≤ 1.649 kWh/m2
- ≤ 1.853 kWh/m2
- ≤ 2.082 kWh/m2

Histograma de irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




0 30 60 Metros 120

N

**CH05**
CASCO HISTÓRICO

# Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# Tejido urbano: Casco histórico

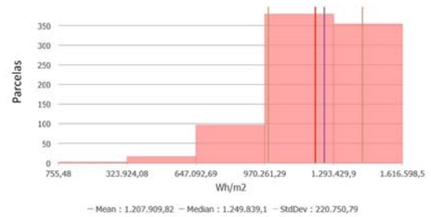
Construcciones según Catastro

Parcelas

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤ 701 kWh/m2
- ≤ 970 kWh/m2
- ≤ 1.147 kWh/m2
- ≤ 1.282 kWh/m2
- ≤ 1.406 kWh/m2
- ≤ 1.616 kWh/m2

Histograma de irradiación solar anual media por parcela




Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 30 60 120 Metros

N

**CH06** CASCO HISTÓRICO

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Casco histórico

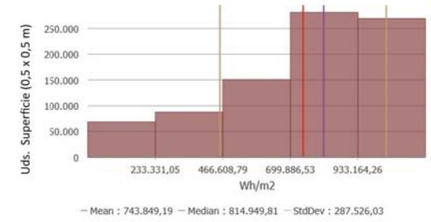
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

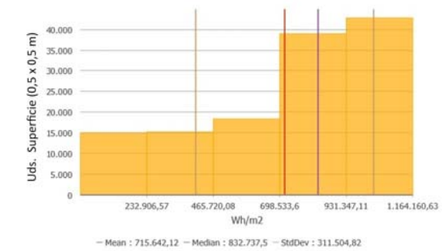
Irradiación

- ≤ 146 kWh/m2
- ≤ 315 kWh/m2
- ≤ 475 kWh/m2
- ≤ 626 kWh/m2
- ≤ 763 kWh/m2
- ≤ 891 kWh/m2
- ≤ 1.015 kWh/m2
- ≤ 1.166 kWh/m2

Histograma de irradiación solar por unidad de superficie, de octubre a mayo




Histograma de irradiación solar de octubre a mayo en cubiertas planas, por unidad de superficie




0 30 60 120 Metros

N

**CH07**
CASCO HISTÓRICO

# Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) ABIO.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## Tejido urbano: Casco histórico

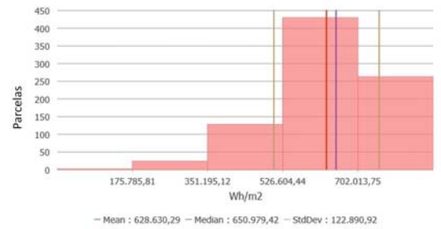
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

Irradiación

- ≤ 387 kWh/m2
- ≤ 536 kWh/m2
- ≤ 640 kWh/m2
- ≤ 729 kWh/m2
- ≤ 877 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo




0 30 60 120 Metros

N

**CH08** CASCO HISTÓRICO

# Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## Tejido urbano: Casco histórico

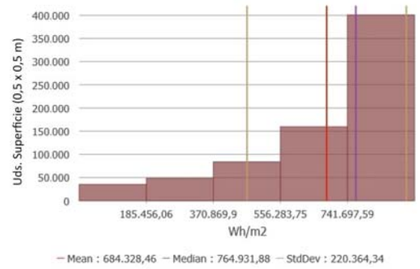
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

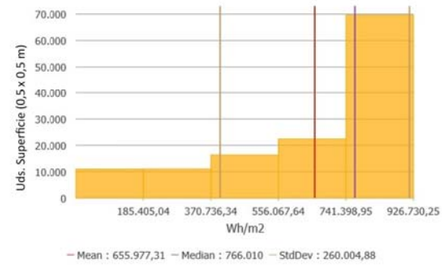
Irradiación solar de junio a septiembre

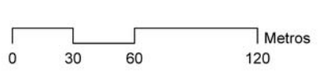
- ≤ 130 kWh/m2
- ≤ 279 kWh/m2
- ≤ 414 kWh/m2
- ≤ 538 kWh/m2
- ≤ 654 kWh/m2
- ≤ 752 kWh/m2
- ≤ 839 kWh/m2
- ≤ 927 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar por unidad de cubierta, de junio a septiembre




Histograma de Irradiación solar en cubiertas planas por unidad de cubierta, de junio a septiembre




**CH09**
CASCO HISTÓRICO

# Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · ABIO

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## Tejido urbano: Casco histórico

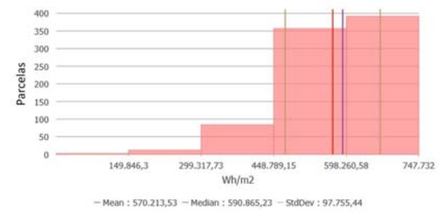
Construcciones según Catastro

Parcelas

Irradiación solar media por parcela, jun-sep

- ≤ 312 kWh/m2
- ≤ 455 kWh/m2
- ≤ 542 kWh/m2
- ≤ 604 kWh/m2
- ≤ 656 kWh/m2
- ≤ 747 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre




Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 30 60 120 Metros

N

**CH10** CASCO HISTÓRICO

Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

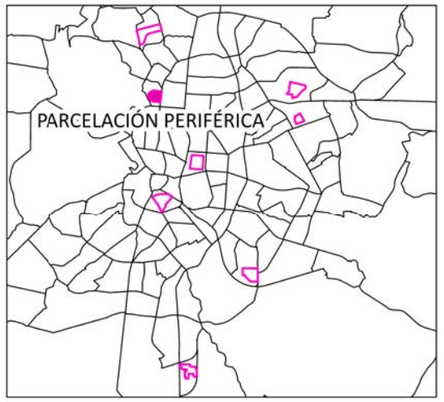
Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# II.d. Parcelación periférica

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

- Construcciones según Catastro
- Parcelas área de estudio
- Manzanas área de estudio
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

0 20 40 80 Metros

N

**PP01** PARC. PERIFÉRICA — Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.upm · Gobierno de España, Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · Instituto de Energía Solar

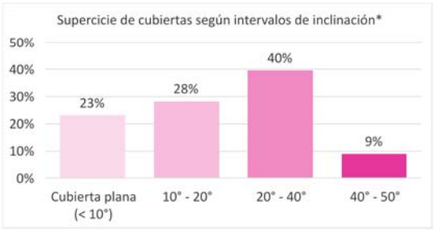
# Tejido urbano: Parcelac. Periférica

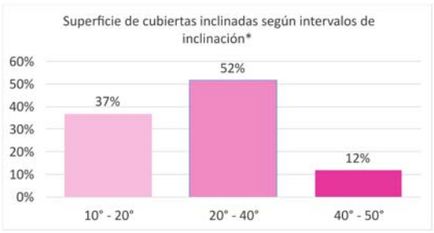
Construcciones según Catastro

Parcelas

Inclinación en cubierta*

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.) Para mas información, consultar la metodología.

0 20 40 80 Metros

N

**PP02** PARC. PERIFÉRICA — Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · ANIO.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

Tipo de cubierta

Inclinada

Plana

0 20 40 80 Metros

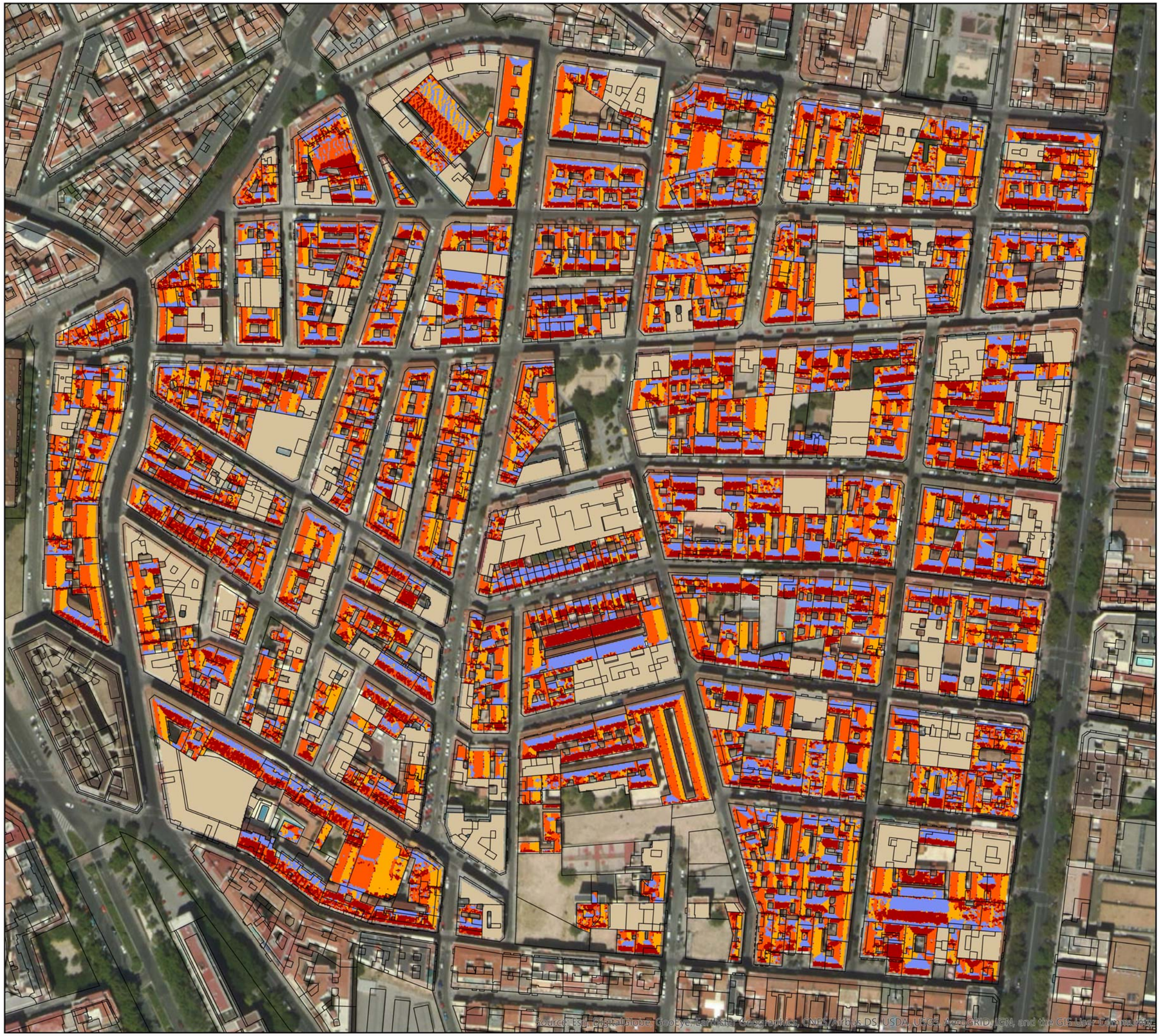
N

**PP03** PARC. PERIFÉRICA — Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

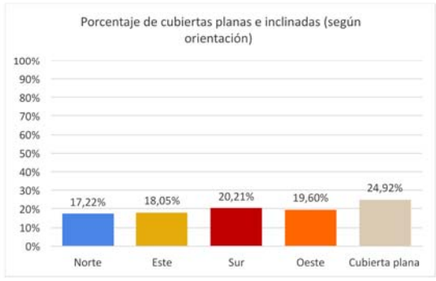


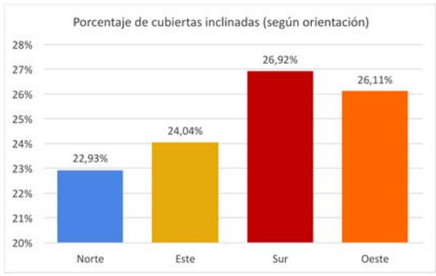

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

- Construcciones según Catastro
- Parcelas área de estudio

Orientación de cubiertas

- Inclinada Norte (315º - 45º)
- Inclinada Este (45º - 135º)
- Inclinada Sur (135º - 225º)
- Oeste (225º - 315º)
- Plana




0 20 40 80 Metros

N

**PP04**
PARC. PERIFÉRICA

Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · adio.upm

Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · 40 años Instituto de Energía Solar

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

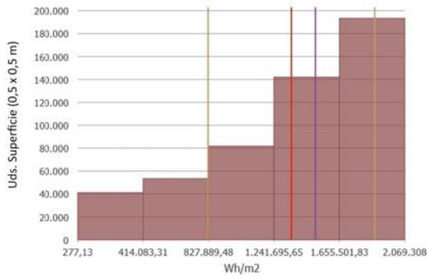
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

Irradiación anual en cubiertas

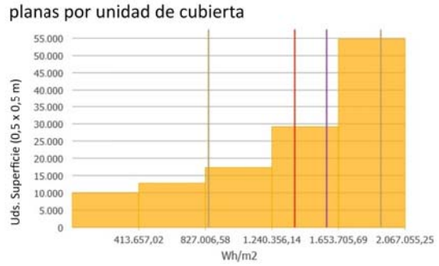
- ≤ 276 kWh/m2
- ≤ 568 kWh/m2
- ≤ 852 kWh/m2
- ≤ 1.119 kWh/m2
- ≤ 1.371 kWh/m2
- ≤ 1.606 kWh/m2
- ≤ 1.817 kWh/m2
- ≤ 2.069 kWh/m2

Histograma de irradiación solar anual por unidad de cubierta




Mean : 1.351.905,31 — Median : 1.503.838,38 — StdDev : 527.169,55

Histograma de irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




Mean : 1.381.713,56 — Median : 1.579.984,25 — StdDev : 534.960,76

0 20 40 80 Metros

N

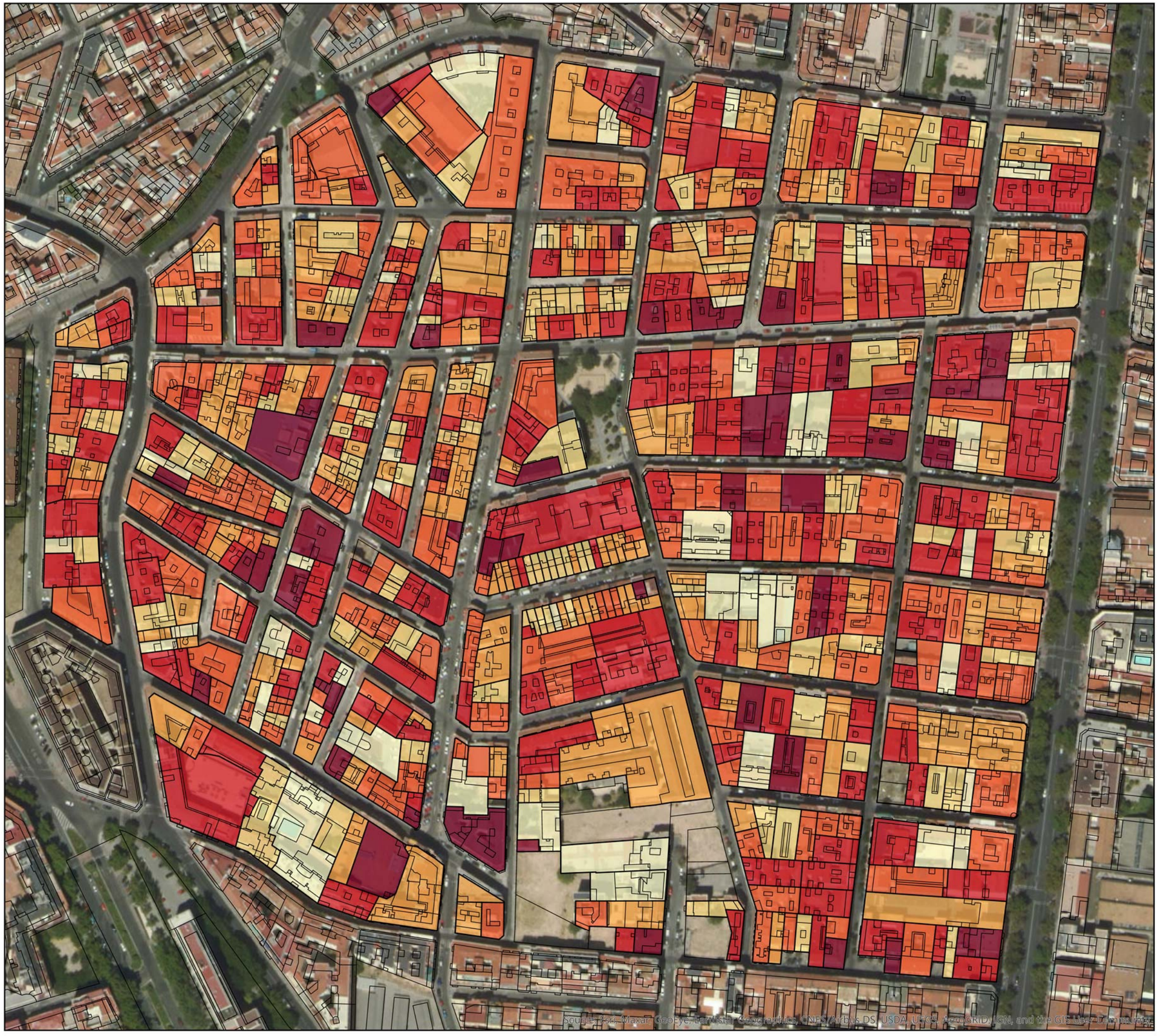
**PP05**
PARC. PERIFÉRICA

# Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · ABIO

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

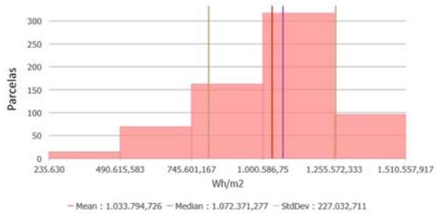
Parcelas

Construcciones según Catastro

Irradiación media anual en cubierta por parcela

- ≤ 625 kWh/m2
- ≤ 861 kWh/m2
- ≤ 1.025 kWh/m2
- ≤ 1.163 kWh/m2
- ≤ 1.302 kWh/m2
- ≤ 1.510 kWh/m2

Histograma de irradiación solar anual media por parcela




0 20 40 80 Metros

N

**PP06** PARC. PERIFÉRICA

# Irradiación solar anual media en cubiertas por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) IDIO.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

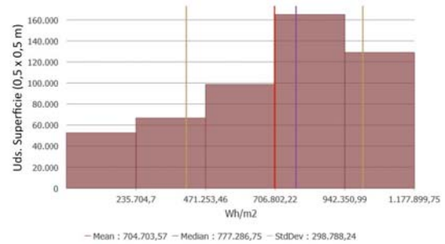
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

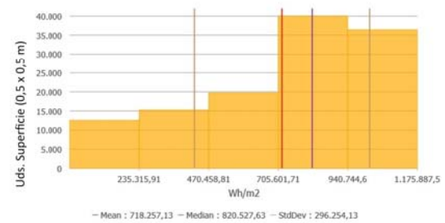
Irradiación solar de octubre a mayo

- ≤ 152 kWh/m2
- ≤ 309 kWh/m2
- ≤ 466 kWh/m2
- ≤ 614 kWh/m2
- ≤ 757 kWh/m2
- ≤ 891 kWh/m2
- ≤ 1.020 kWh/m2
- ≤ 1.177 kWh/m2

Histograma de irradiación solar por unidad de cubierta, de octubre a mayo




Histograma de irradiación solar en cubiertas planas por unidad de cubierta, de octubre a mayo




0 20 40 Metros 80

N

**PP07**
PARC. PERIFÉRICA

Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Parcelac. Periférica

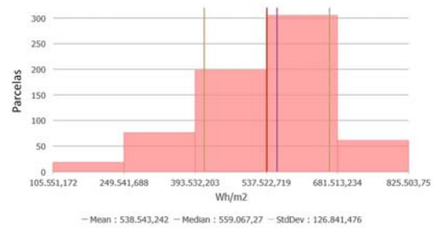
Parcelas

Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de oct. a mayo

- ≤ 314 kWh/m2
- ≤ 437 kWh/m2
- ≤ 536 kWh/m2
- ≤ 615 kWh/m2
- ≤ 693 kWh/m2
- ≤ 825 kWh/m2

Histograma de irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo




Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Metros

0 20 40 80

N

**PP08** PARC. PERIFÉRICA

## Irradiación solar media en cubiertas por parcela, de mayo a octubre

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

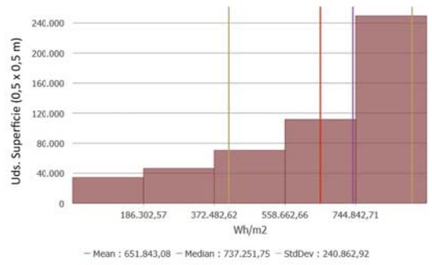
Construcciones según Catastro

Parcelas área de estudio

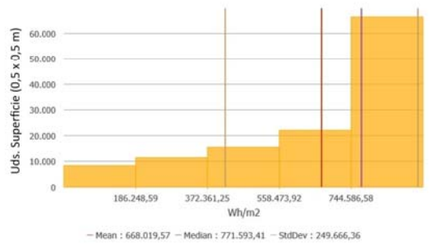
Irradiancia solar de junio a septiembre

- ≤ 131 kWh/m2
- ≤ 266 kWh/m2
- ≤ 394 kWh/m2
- ≤ 514 kWh/m2
- ≤ 631 kWh/m2
- ≤ 741 kWh/m2
- ≤ 836 kWh/m2
- ≤ 931 kWh/m2

Histograma de irradiación solar por unidad de cubierta, de junio a septiembre




Histograma de irradiación solar en cubiertas planas por unidad de cubierta, de junio a septiembre




0 20 40 80 Metros

N

**PP09**
PARC. PERIFÉRICA

# Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) ABIO.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Parcelac. Periférica

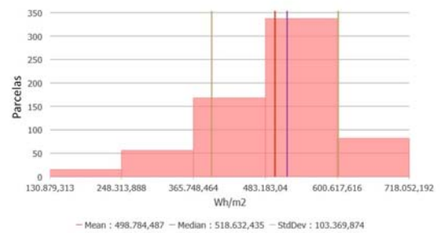
Parcelas

Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, jun-sep

- ≤ 317 kWh/m2
- ≤ 419 kWh/m2
- ≤ 489 kWh/m2
- ≤ 551 kWh/m2
- ≤ 613 kWh/m2
- ≤ 718 kWh/m2

Histograma de irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre




Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 20 40 80 Metros

N

**PP10**
PARC. PERIFÉRICA

Irradiación solar media en cubiertas por parcela, de junio a septiembre

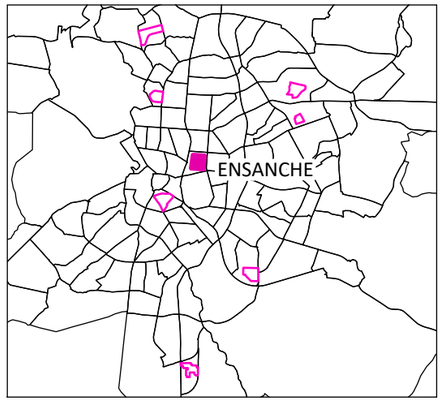
Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT
giau+s (UPM)
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# II.e. Ensanche

## Tejido urbano: ensanche

- PARCELA
- Construcciones según Catastro
- Manzanas Ensanche
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 25 50 100 Metros

N

**EN01** ENSANCHE

Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

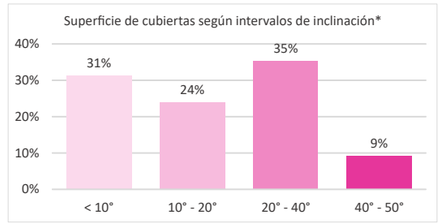
## Tejido urbano: ensanche

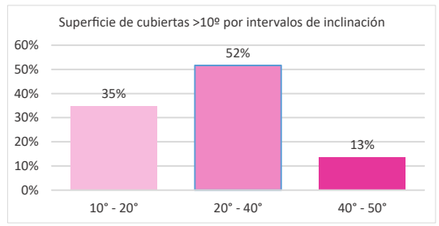
PARCELA

Construcciones según Catastro

Inclinación en cubierta*

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las áreas de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

N

0 25 50 Metros 100

**EN02**
ENSANCHE

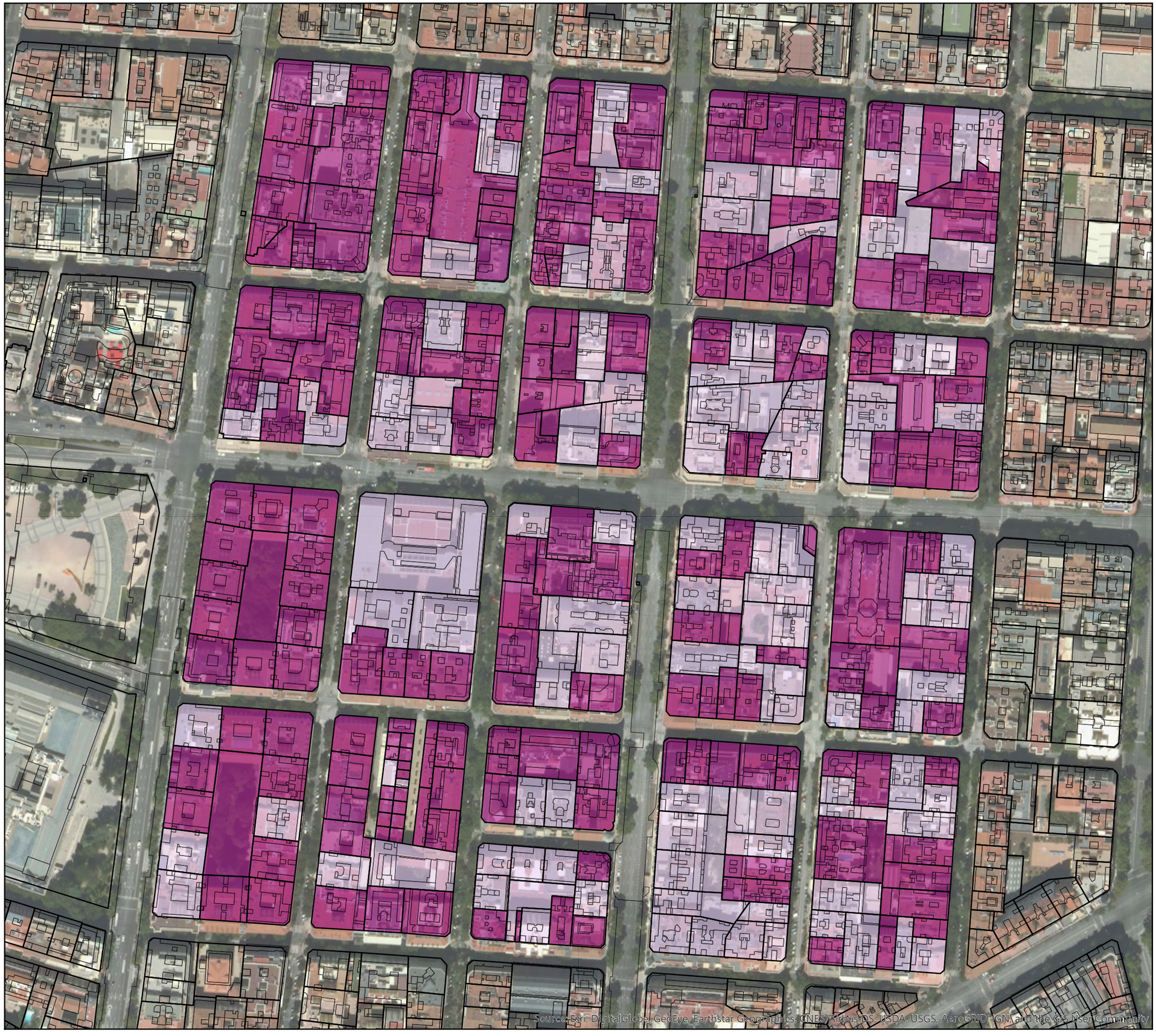
# Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community




## Tejido urbano: ensanche

Parcelas según catastro

Construcciones según Catastro

Tipo de cubierta

Inclinada

Plana

N

0 25 50 100 Metros

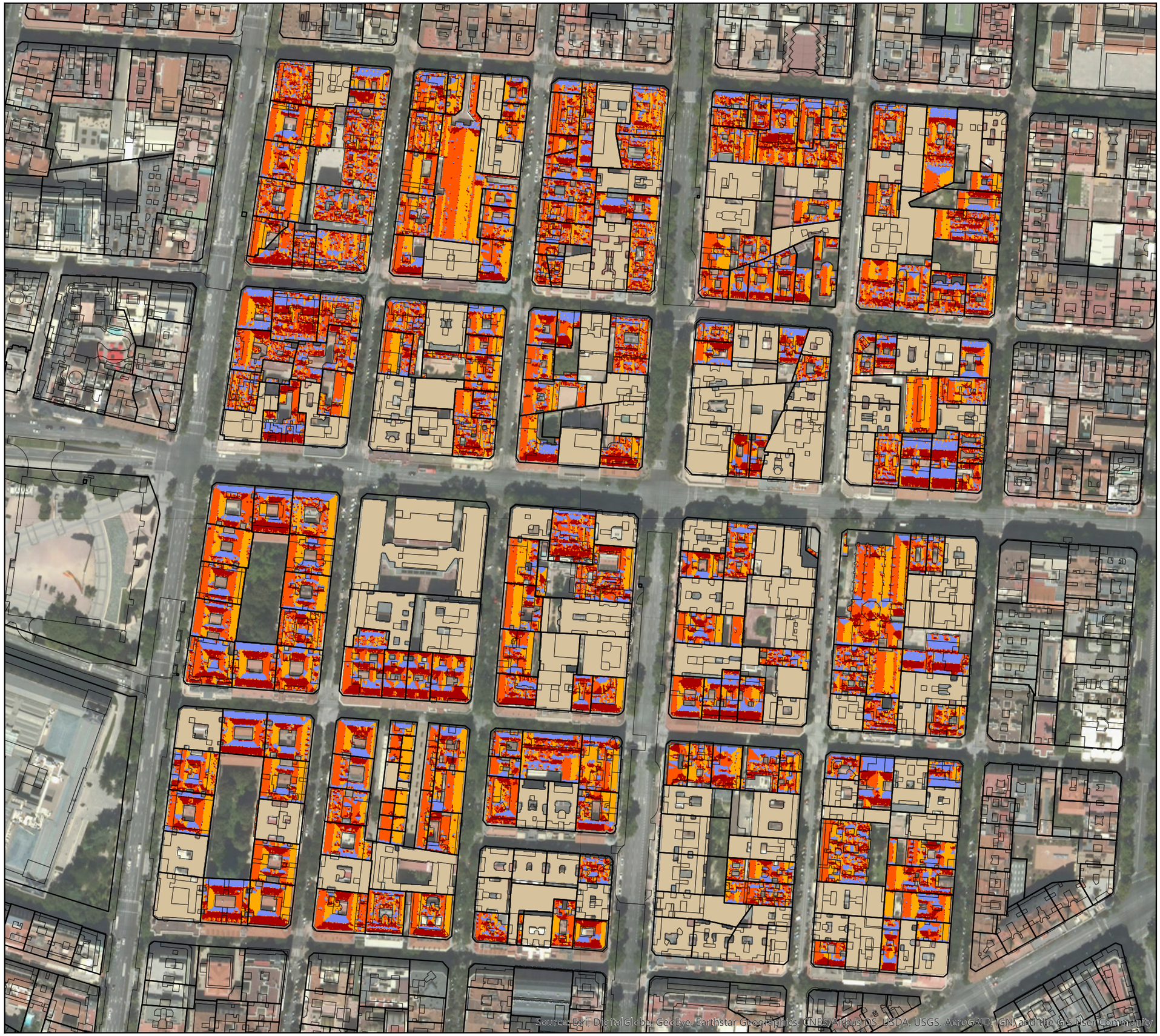
**EN03**
ENSANCHE

Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: ensanche

Parcelas según catastro

Construcciones según Catastro

Orientación de cubierta

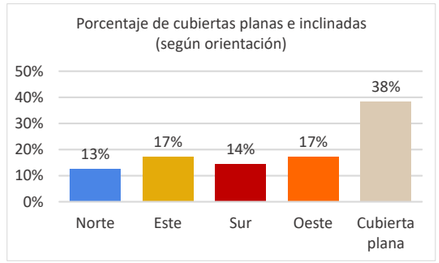
Inclinada Norte (315º - 45º)

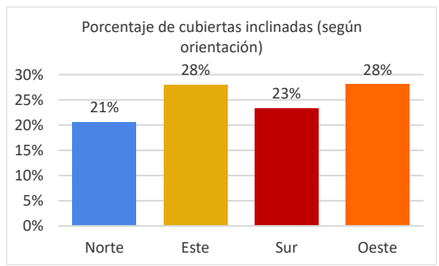
Inclinada Este (45º - 135º)

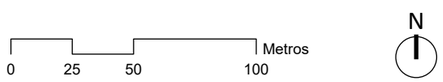
Inclinada Sur (135º - 225º)

Oeste (225º - 315º)

Plana




**EN04**
ENSANCHE

# Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · adio.com · Gobierno de España, Ministerio de Fomento · Politécnica, Universidad Politécnica de Madrid · 40 Instituto de Energía Solar

## Tejido urbano: ensanche

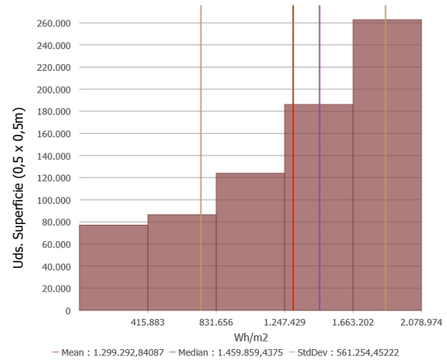
Parcelas según catastro

Construcciones según catastro

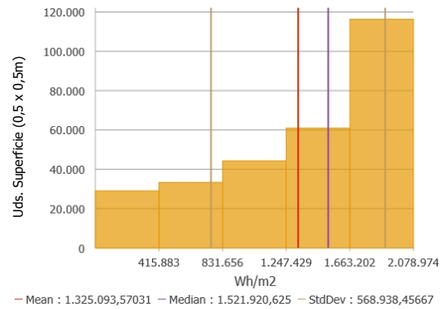
Irradiación

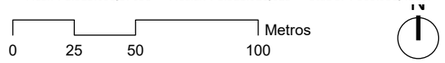
- ≤ 244 kWh/m2
- ≤ 538 kWh/m2
- ≤ 823 kWh/m2
- ≤ 1.092 kWh/m2
- ≤ 1.353 kWh/m2
- ≤ 1.589 kWh/m2
- ≤ 1.801 kWh/m2
- ≤ 2.078 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




# EN05
ENSANCHE

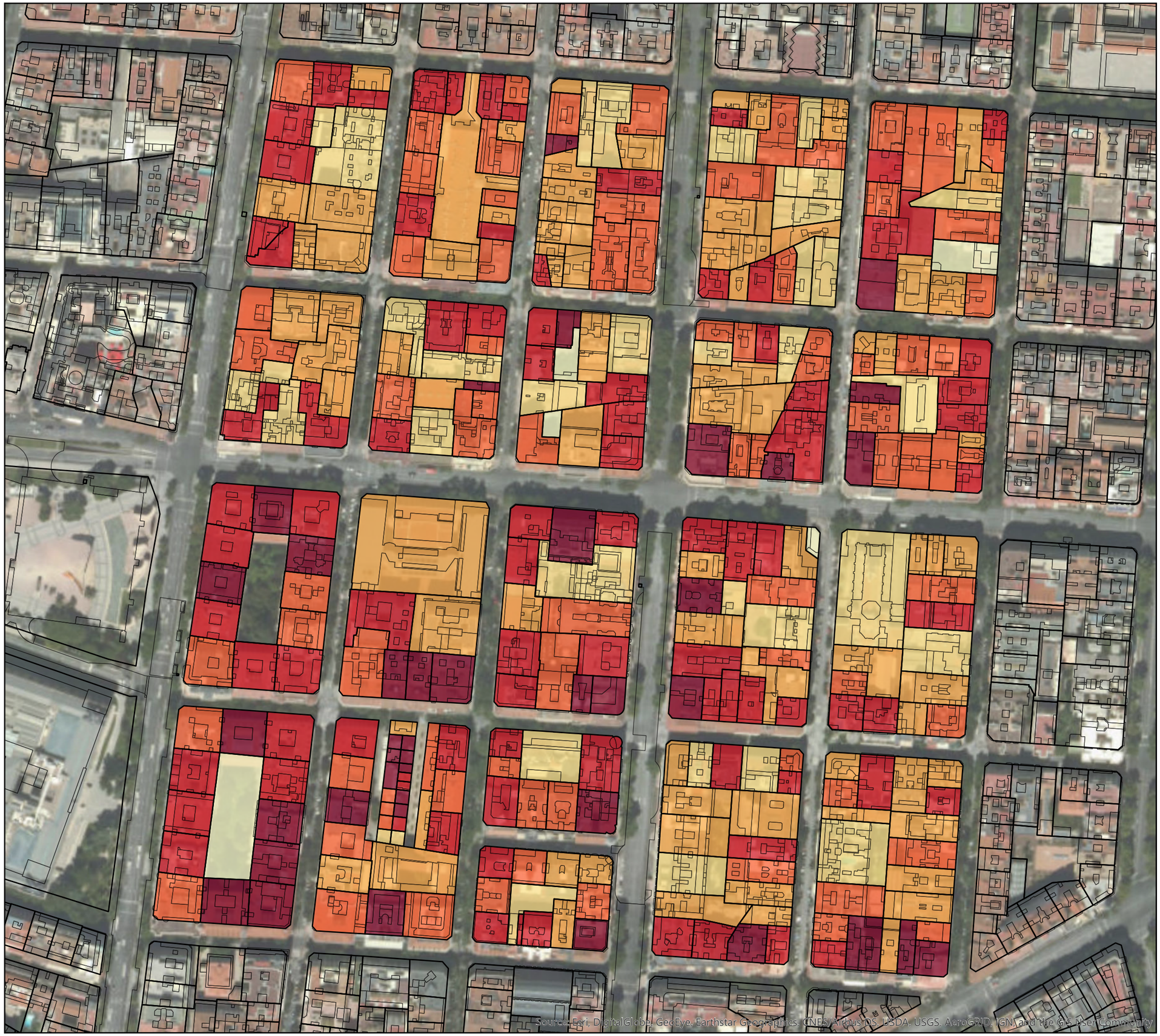
## Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



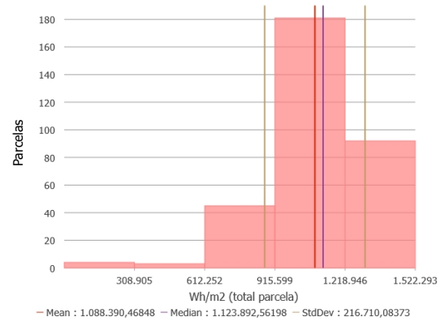

## Tejido urbano: ensanche

- Parcelas según catastro
- Construcciones según catastro

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤ 402 kWh/m2
- ≤ 860 kWh/m2
- ≤ 1.038 kWh/m2
- ≤ 1.169 kWh/m2
- ≤ 1.294 kWh/m2
- ≤ 1.522 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




N

0 25 50 100 Metros

**EN06**
ENSANCHE

# Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: ensanche

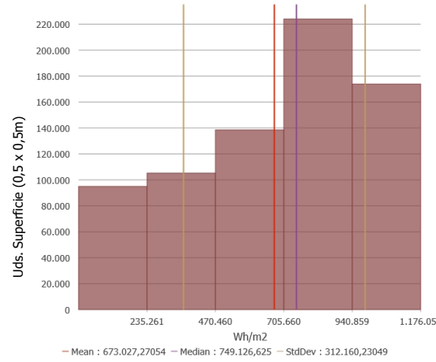
Parcelas según catastro

Construcciones según catastro

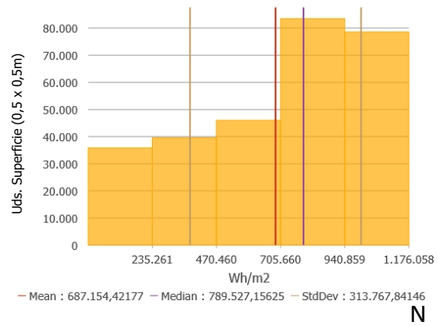
Irradiación solar de octubre a mayo

- ≤135 kWh/m2
- ≤ 295 kWh/m2
- ≤ 452 kWh/m2
- ≤ 604 kWh/m2
- ≤ 752 kWh/m2
- ≤ 886 kWh/m2
- ≤ 1.015 kWh/m2
- ≤ 1.176 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

0 25 50 Metros 100

# EN07
ENSANCHE

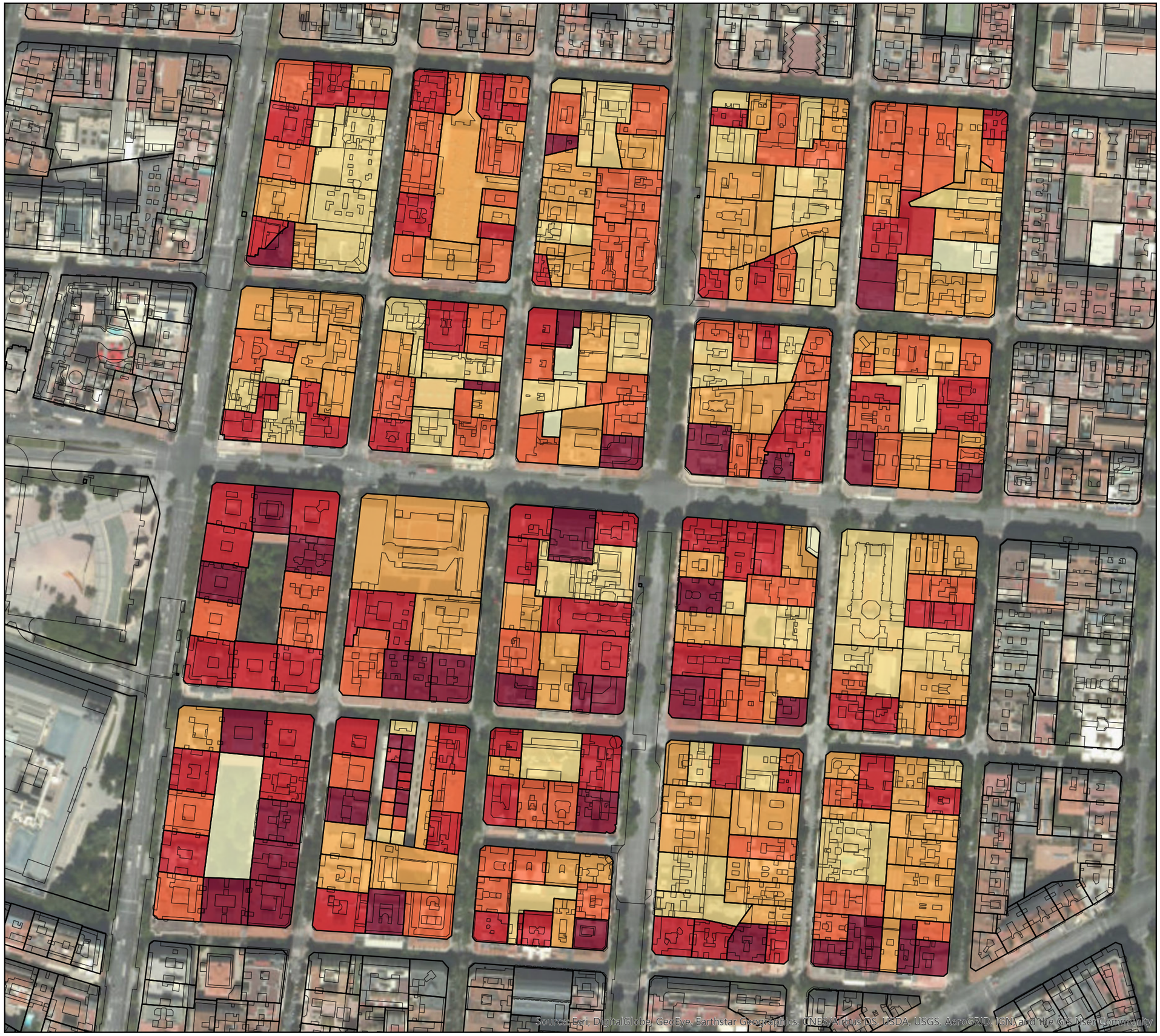
## Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



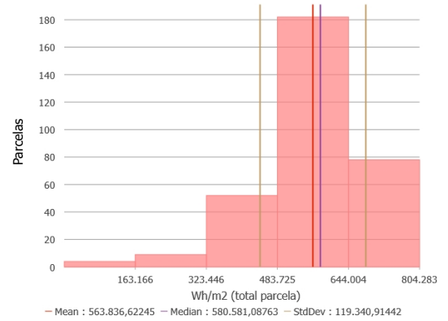

## Tejido urbano: ensanche

- Parcelas según catastro
- Construcciones según catastro

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤ 195 kWh/m2
- ≤ 452 kWh/m2
- ≤ 549 kWh/m2
- ≤ 617 kWh/m2
- ≤ 675 kWh/m2
- ≤ 804 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo




Metros
0 25 50 100

N

# EN08
ENSANCHE

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: ensanche

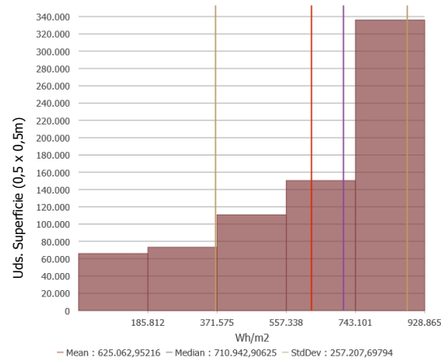
Parcelas según catastro

Construcciones según catastro

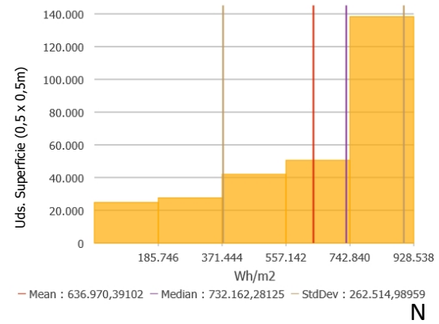
Irradiación solar de junio a septiembre

- ≤ 113 kWh/m2
- ≤ 248 kWh/m2
- ≤ 375 kWh/m2
- ≤ 495 kWh/m2
- ≤ 616 kWh/m2
- ≤ 729 kWh/m2
- ≤ 831 kWh/m2
- ≤ 929 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar de junio a septiembre, por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar de junio a septiembre, en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

0 25 50 100 Metros

**EN09**
ENSANCHE

# Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) abio.upm

Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · Instituto de Energía Solar

## Tejido urbano: ensanche

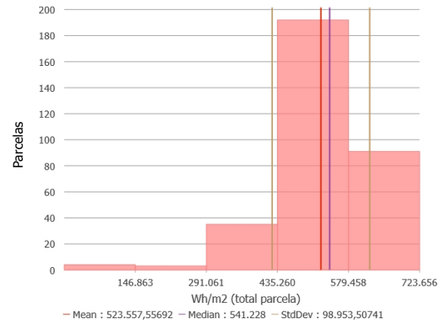
Parcelas según catastro

Construcciones según catastro

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤ 195 kWh/m2
- ≤ 452 kWh/m2
- ≤ 549 kWh/m2
- ≤ 617 kWh/m2
- ≤ 675 kWh/m2
- ≤ 804 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre




Metros

0 25 50 100

N

# EN10
ENSANCHE

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s(UPM) ABIO

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

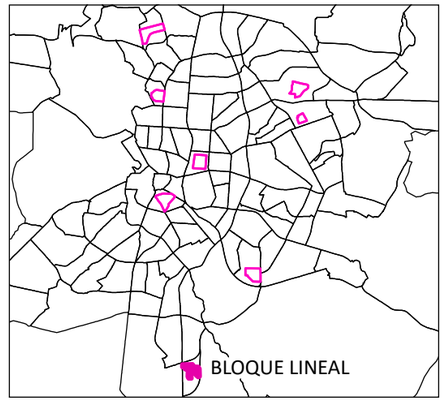
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# II.f. Bloque lineal

## Tejido urbano: Bloque Lineal

- Parcelas según Catastro
- Construcciones según Catastro
- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 25 50 100 Metros

N

**BL01**
BLOQUE LINEAL

Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

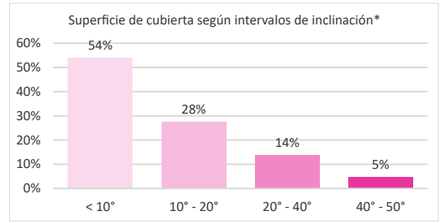
# Tejido urbano: Bloque Lineal

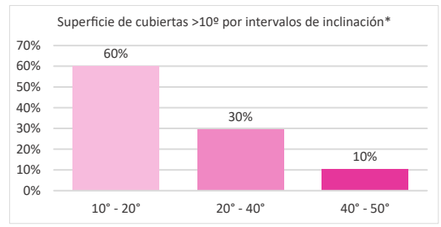
Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Inclinación en cubierta*

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

0 25 50 100 Metros

N

BL02
BLOQUE LINEAL

## Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

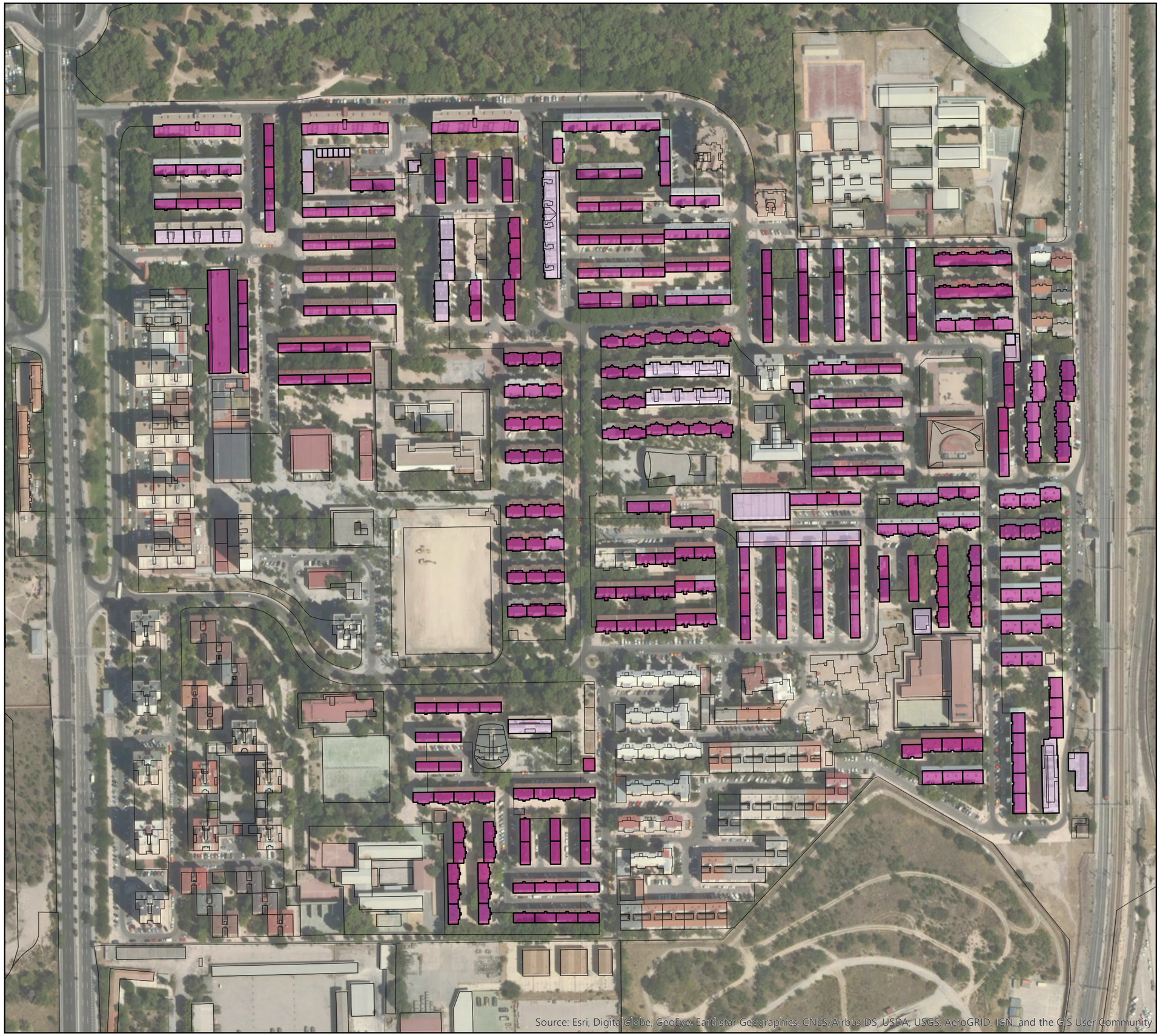
DUyOT giaus(UPM) abio

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community




## Tejido urbano: Bloque Lineal

Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Tipo de cubierta

Inclinada

Plana

N

0 25 50 100 Metros

**BL03**
BLOQUE LINEAL

# Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Bloque Lineal

Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Orientación de cubierta

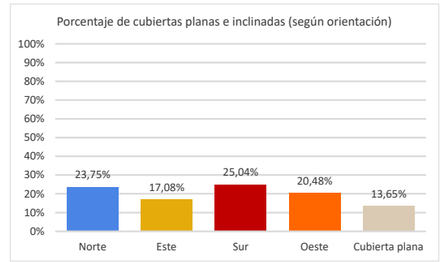
Inclinada Norte (315º - 45º)

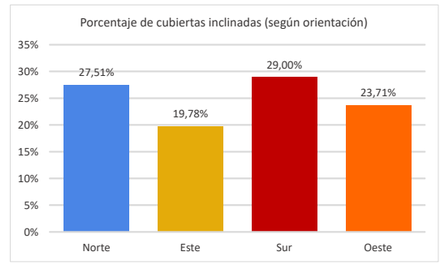
Inclinada Este (45º - 135º)

Inclinada Sur (135º - 225º)

Oeste (225º - 315º)

Plana




0 25 50 100 Metros

N

**BL04**
BLOQUE LINEAL

## Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

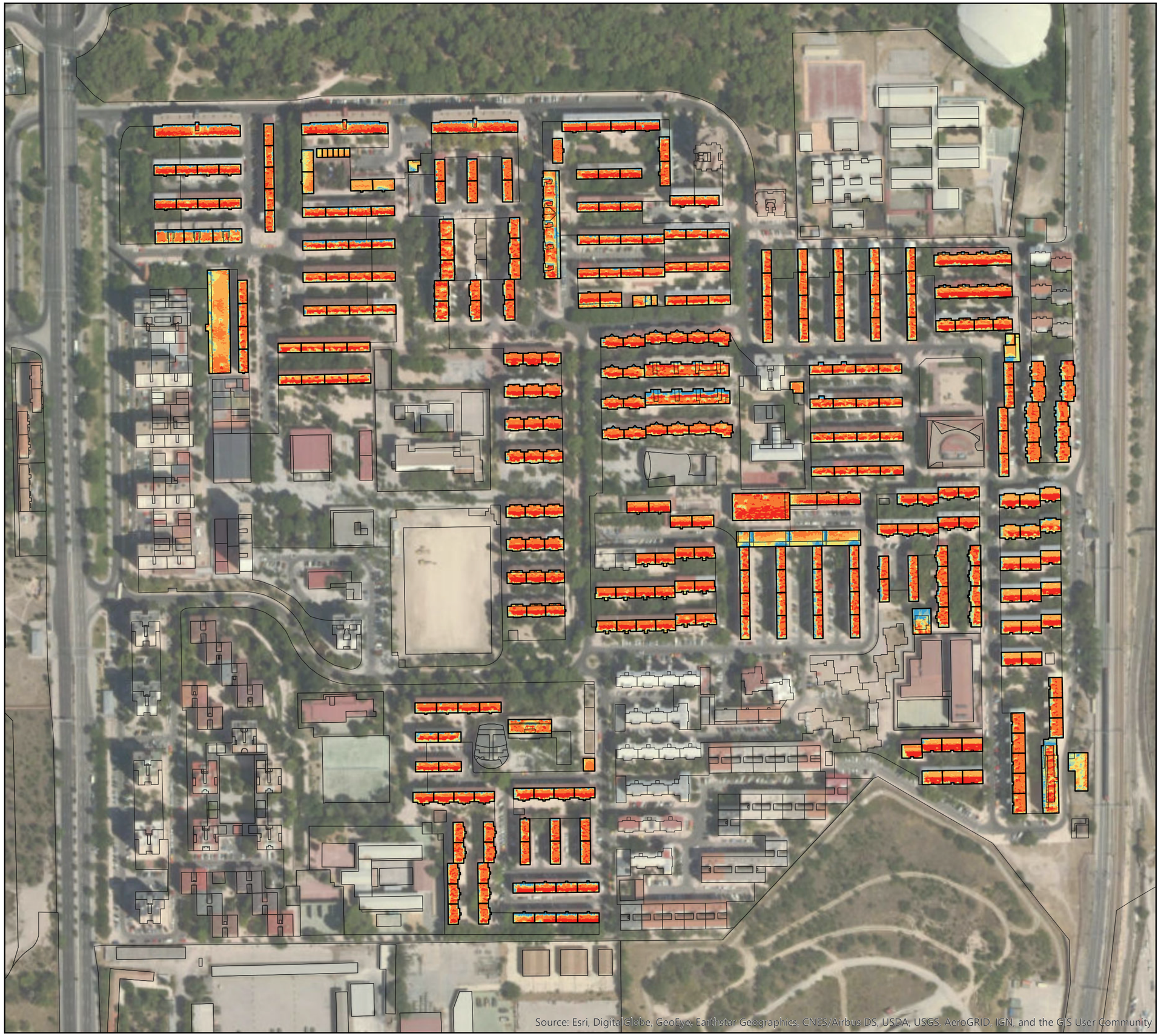
DUyOT giau+s(UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community




## Tejido urbano: Bloque Lineal

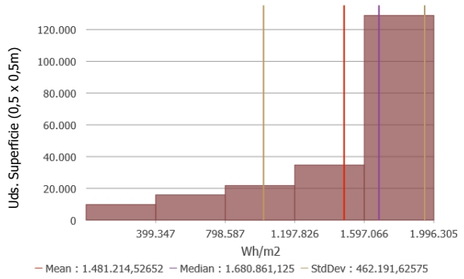
Parcelas consideradas en el área de estudio

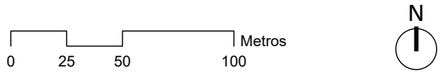
Construcciones según Catastro

Irradiación anual KWh/m2

- ≤ 352 kW/m2
- ≤ 626 kW/m2
- ≤ 893 kW/m2
- ≤ 1.159 kW/m2
- ≤ 1.417 kW/m2
- ≤ 1.636 kW/m2
- ≤ 1.801 kW/m2
- ≤ 1.996 kW/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta



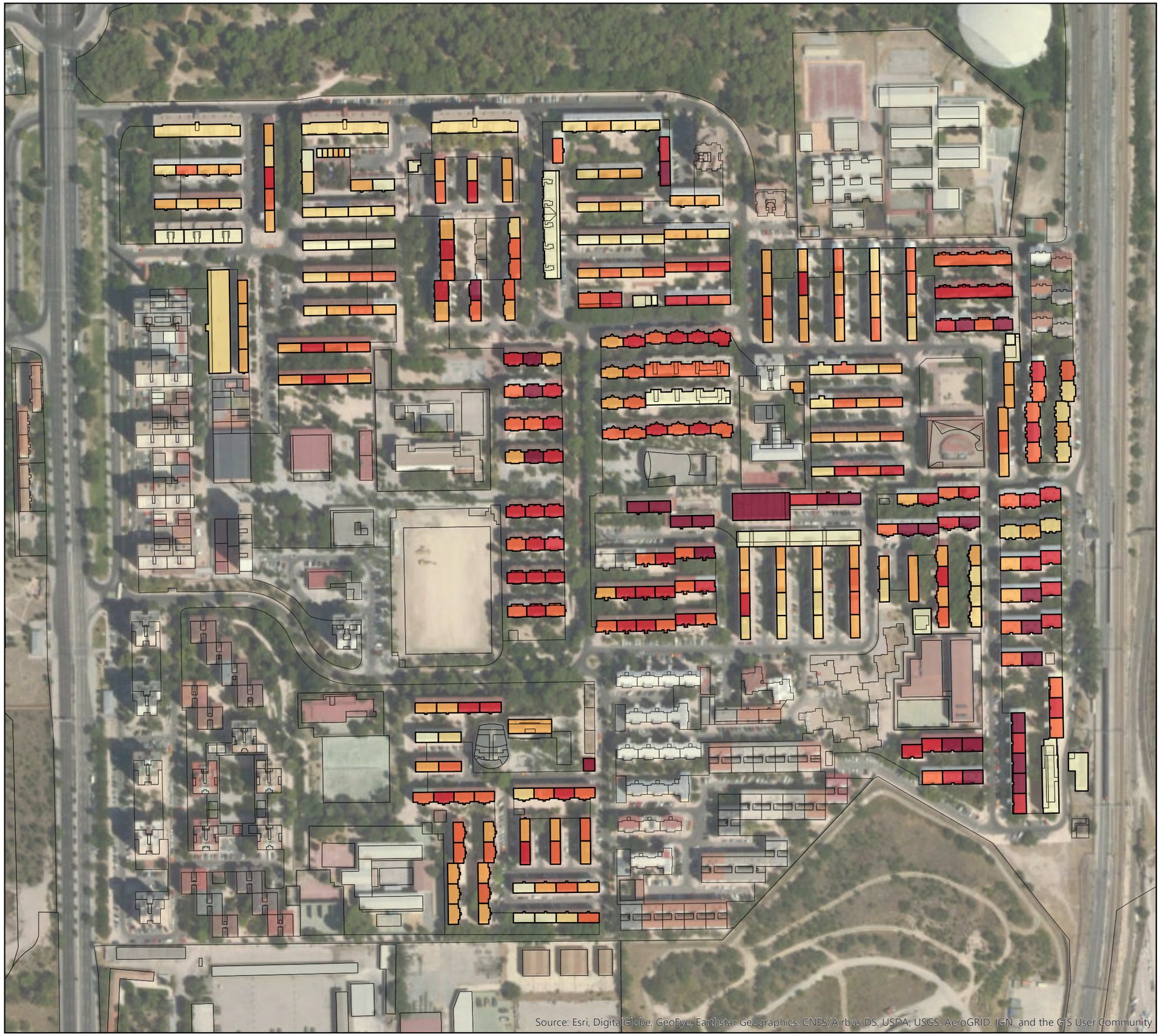

# BL05
BLOQUE LINEAL

## Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut's(UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: Bloque Lineal

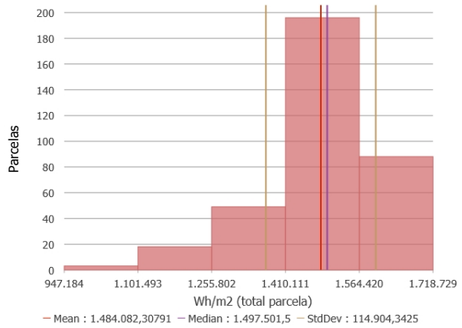
Parcelas consideradas en el área de estudio

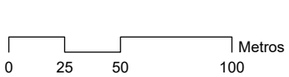
Construcciones según Catastro

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤1.292 kWh/m2
- ≤1.419 kWh/m2
- ≤1.493 kWh/m2
- ≤1.551 kWh/m2
- ≤1.616 kWh/m2
- ≤1.719 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




**BL06**
BLOQUE LINEAL

# Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

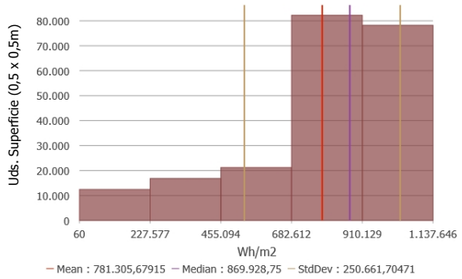
## Tejido urbano: Bloque Lineal

- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Construcciones según Catastro

Irradiación solar de octubre a mayo

- ≤192 kW/m2
- ≤344 kW/m2
- ≤495 kW/m2
- ≤647 kW/m2
- ≤781 kW/m2
- ≤883 kW/m2
- ≤982 kW/m2
- ≤1.138 kW/m2

Histograma de Irradiación solar por unidad de cubierta, de octubre a mayo




Metros
0 25 50 100

N

# BL07
BLOQUE LINEAL

## Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) ABIO

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

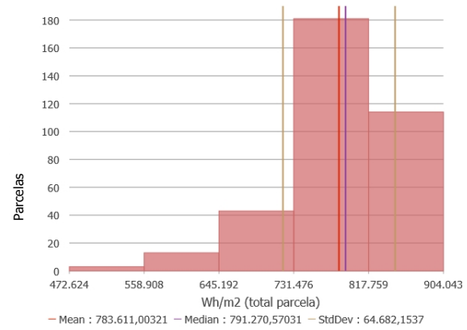
## Tejido urbano: Bloque Lineal

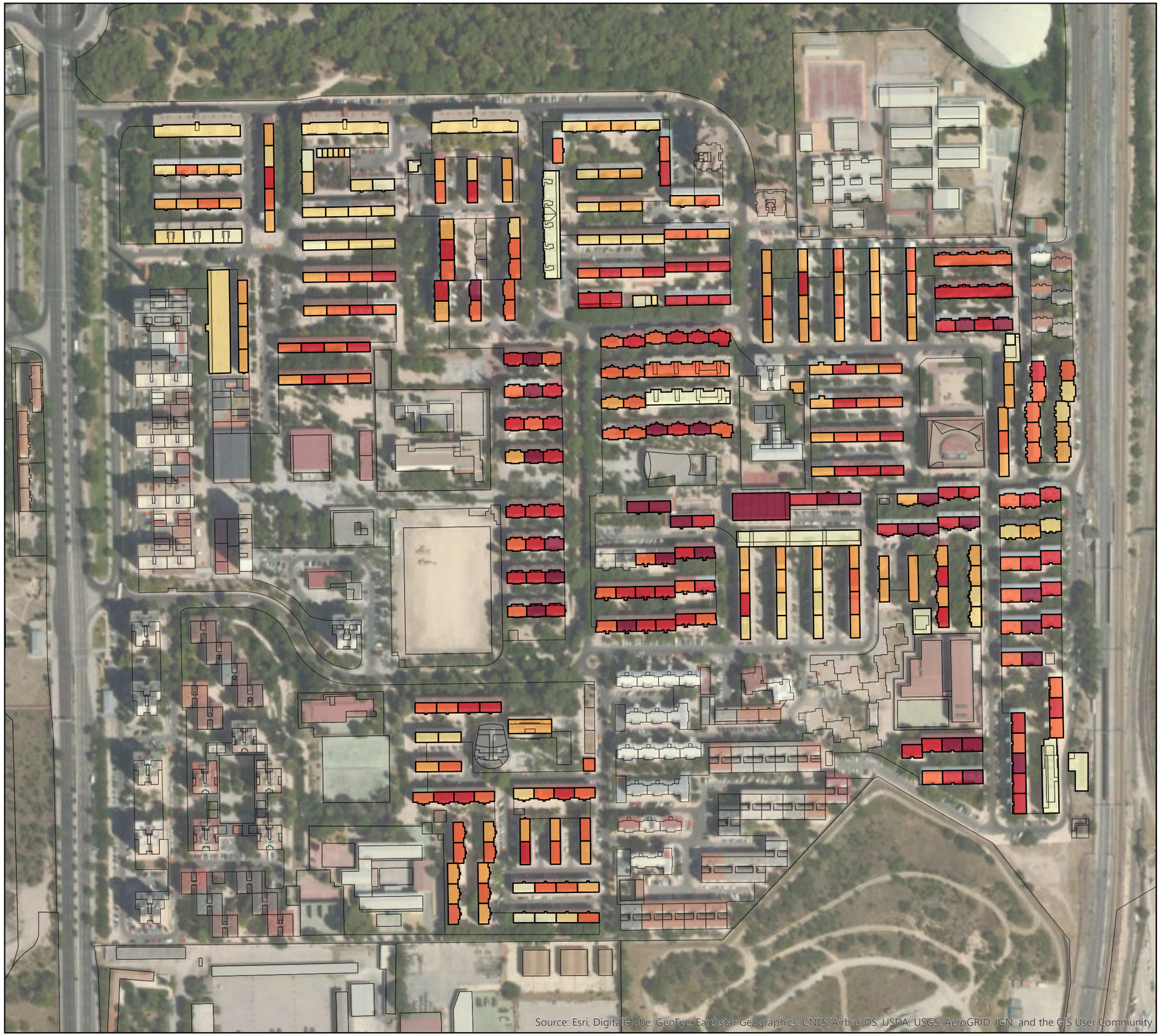
- Parcelas consideradas en el área de estudio
- Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤659 kWh/m2
- ≤735 kWh/m2
- ≤780 kWh/m2
- ≤817 kWh/m2
- ≤853 kWh/m2
- ≤904 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo




0 25 50 100 Metros

N

**BL08**
BLOQUE LINEAL

# Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Bloque Lineal

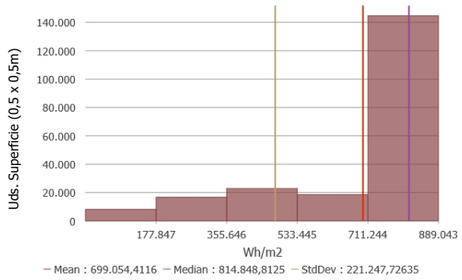
Parcelas consideradas en el área de estudio

Construcciones según Catastro

Irradiación solar de octubre a mayo

- ≤192 kW/m2
- ≤344 kW/m2
- ≤495 kW/m2
- ≤647 kW/m2
- ≤781 kW/m2
- ≤883 kW/m2
- ≤982 kW/m2
- ≤1.138 kW/m2

Histograma de Irradiación solar por unidad de cubierta, de junio a septiembre




Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 25 50 100 Metros

N

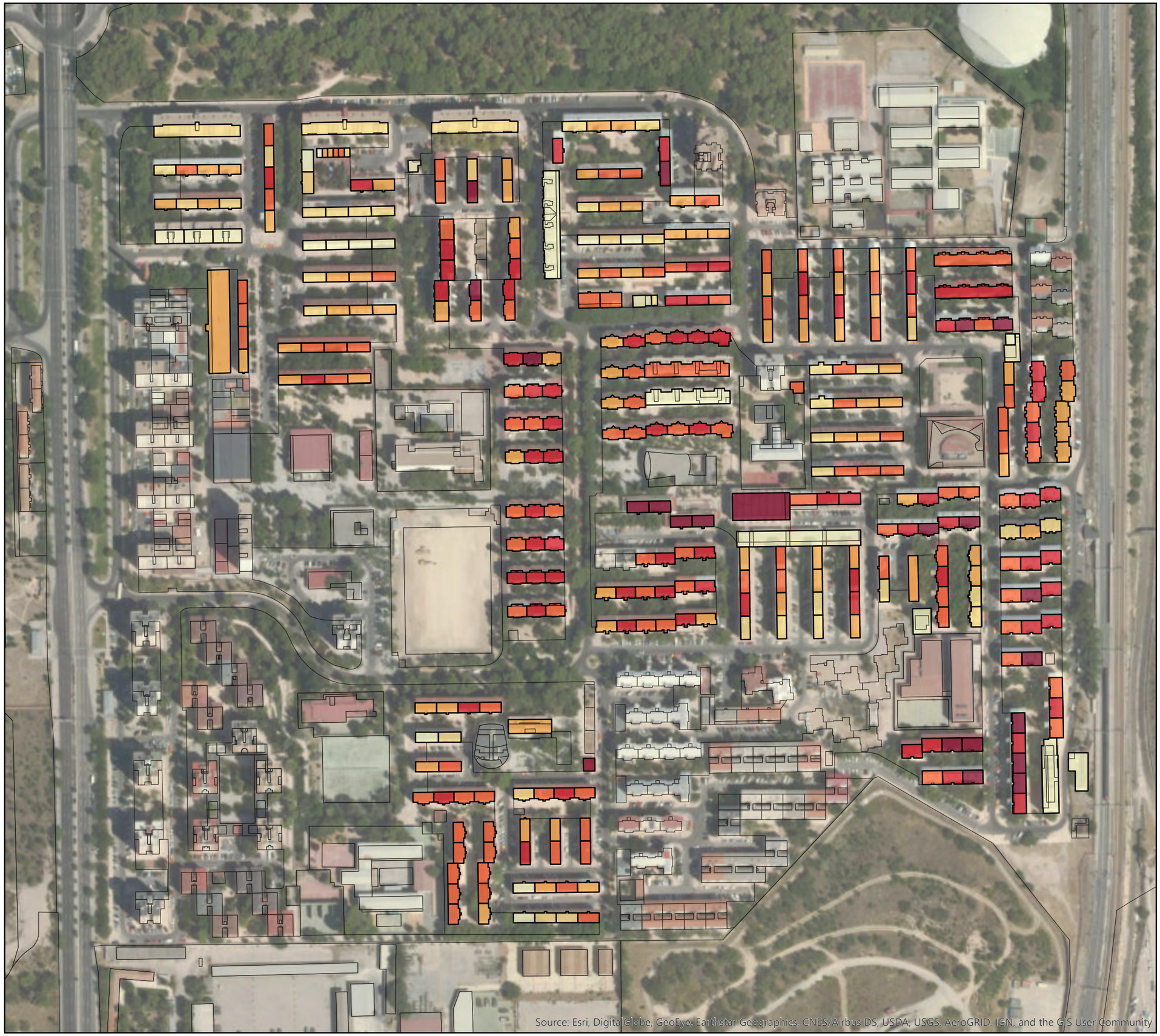
BL09
BLOQUE LINEAL

# Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giaus (UPM) · abio

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: Bloque Lineal

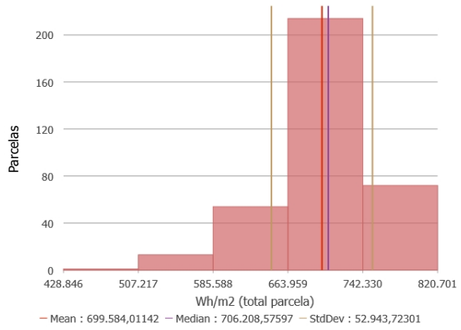
Parcelas consideradas en el área de estudio

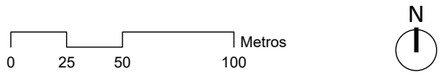
Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre

- ≤605 kWh/m2
- ≤661 kWh/m2
- ≤698 kWh/m2
- ≤729 kWh/m2
- ≤766 kWh/m2
- ≤821 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre




**BL10**
BLOQUE LINEAL

# Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

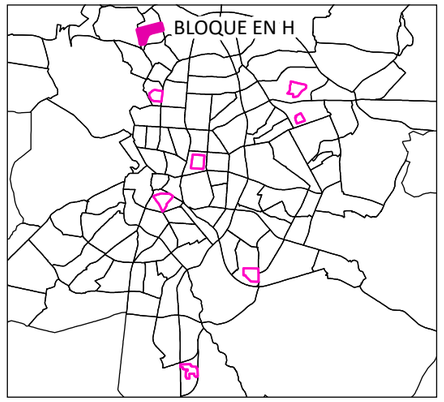
DUyOT · giau+s (UPM) · abio

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# II.g. Bloque en H

## Tejido urbano: Bloque en H

- Construcciones según Catastro
- Parcelas
- Parcelas edificadas
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 40 80 160 Metros

N

**BH01**
BLOQUE EN H

Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

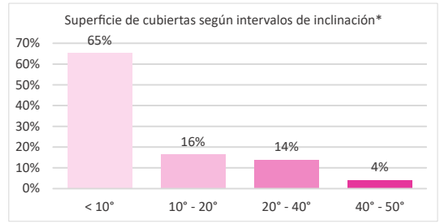
DUyOT giaut+s(UPM) abio.upm
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

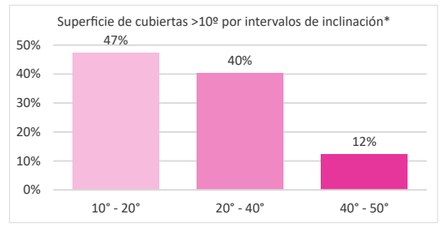
## Tejido urbano: Bloque en H

- Parcelas
- Construcciones según Catastro

Inclinación en cubierta*

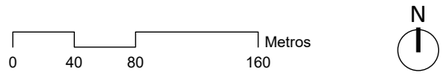
- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

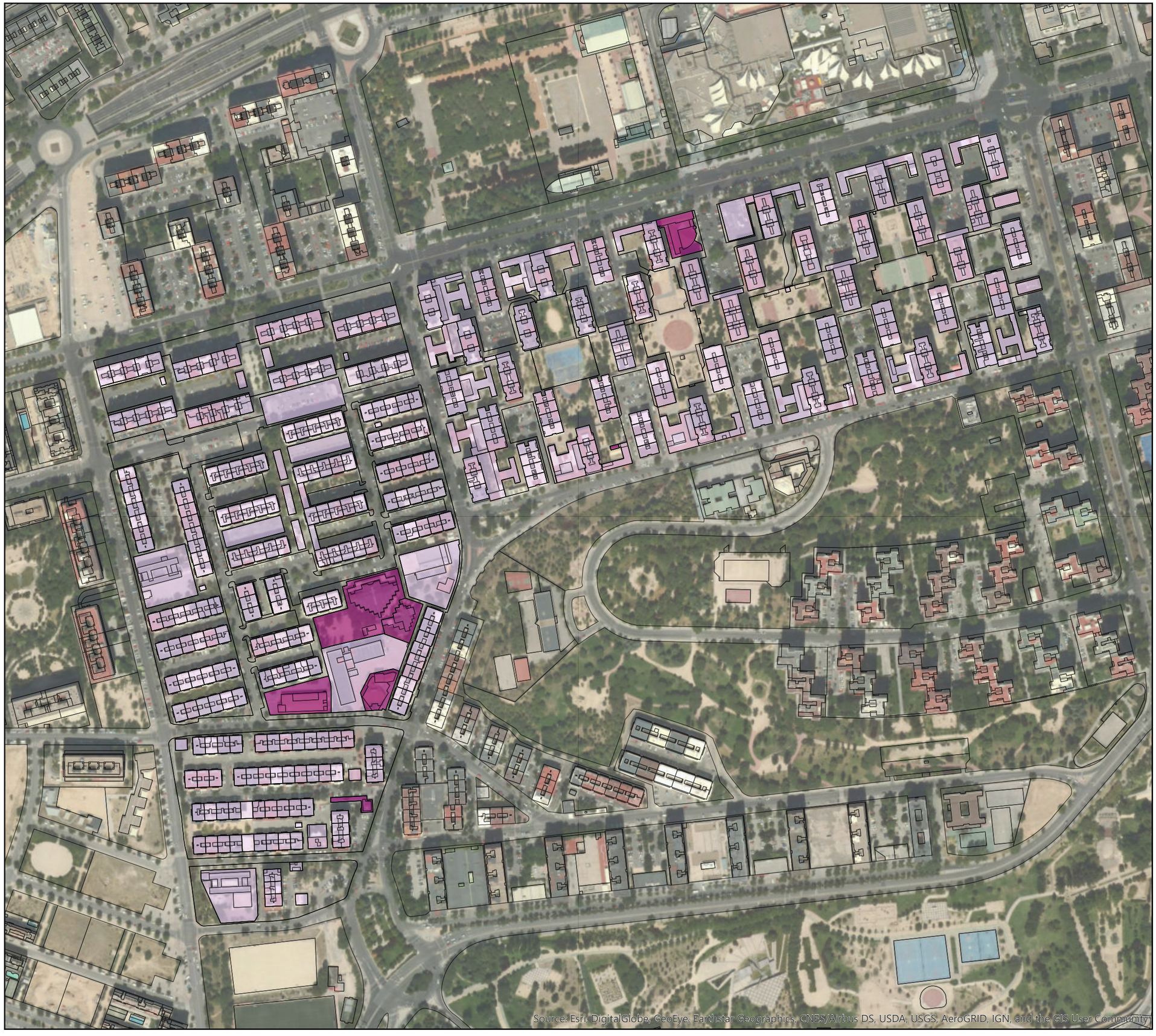



**BH02**
BLOQUE EN H

# Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · adio.com · Gobierno de España, Ministerio de Fomento · Politécnica, Universidad Politécnica de Madrid · 40 años, Instituto de Energía Solar




## Tejido urbano: Bloque en H

- Parcelas
- Construcciones según Catastro

Tipo de cubierta

- Inclinada
- Plana

0 40 80 160 Metros

N

**BH03**
BLOQUE EN H

# Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giaut+s (UPM) · abio

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Bloque en H

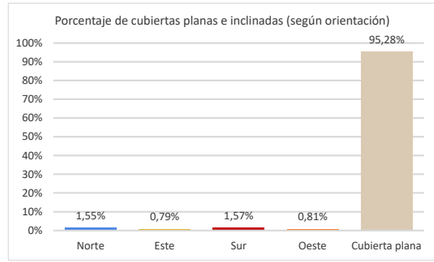
- Parcelas
- Construcciones según Catastro

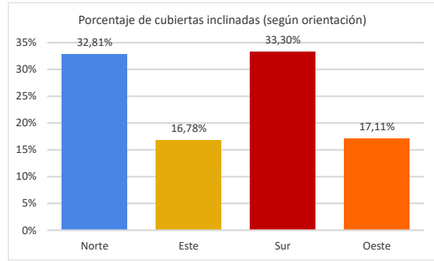
Cubiertas Inclinadas

- Inclinada Norte (315º - 45º)
- Inclinada Este (45º - 135º)
- Inclinada Sur (135º - 225º)
- Oeste (225º - 315º)

Cubiertas Planas

- Plana




0 40 80 160 Metros

N

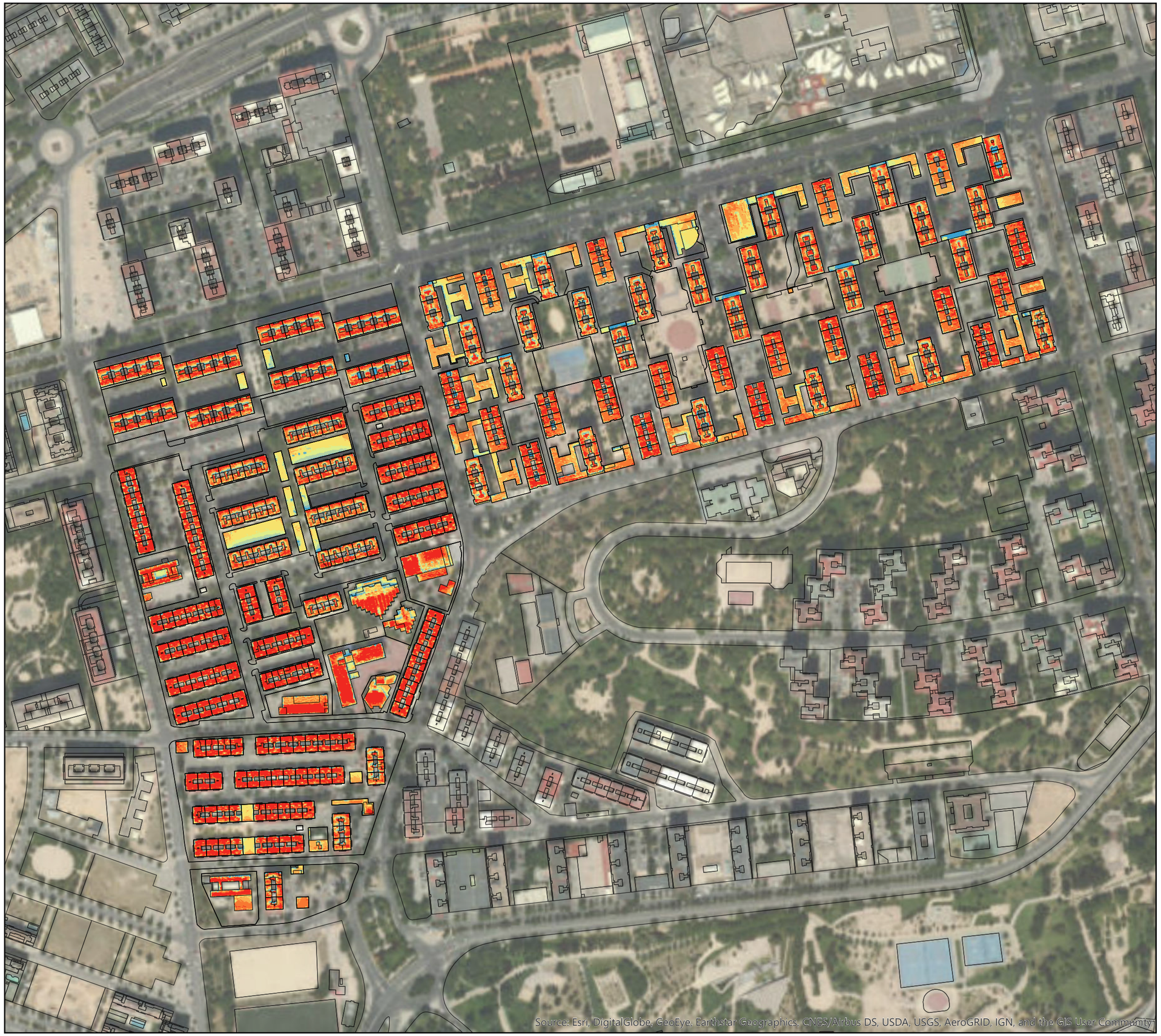
**BH04** BLOQUE EN H

# Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giaus (UPM) · abio

Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · 40 · Instituto de Energía Solar




## Tejido urbano: Bloque en H

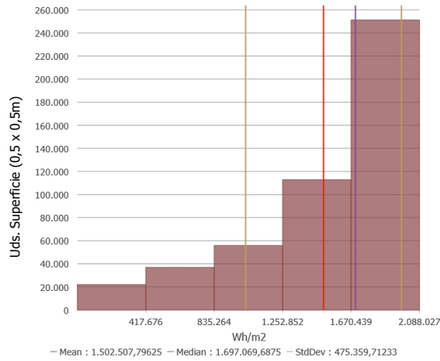
Parcelas

Construcciones según Catastro

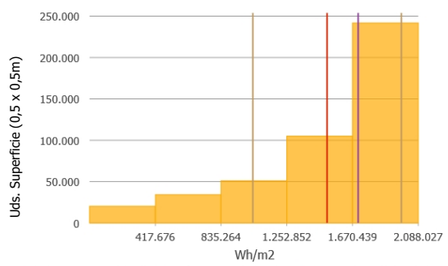
Irradiación

- ≤ 319 kWh/m2
- ≤ 614 kWh/m2
- ≤ 893 kWh/m2
- ≤ 1.163 kWh/m2
- ≤ 1.417 kWh/m2
- ≤ 1.638 kWh/m2
- ≤ 1.818 kWh/m2
- ≤ 2.088 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

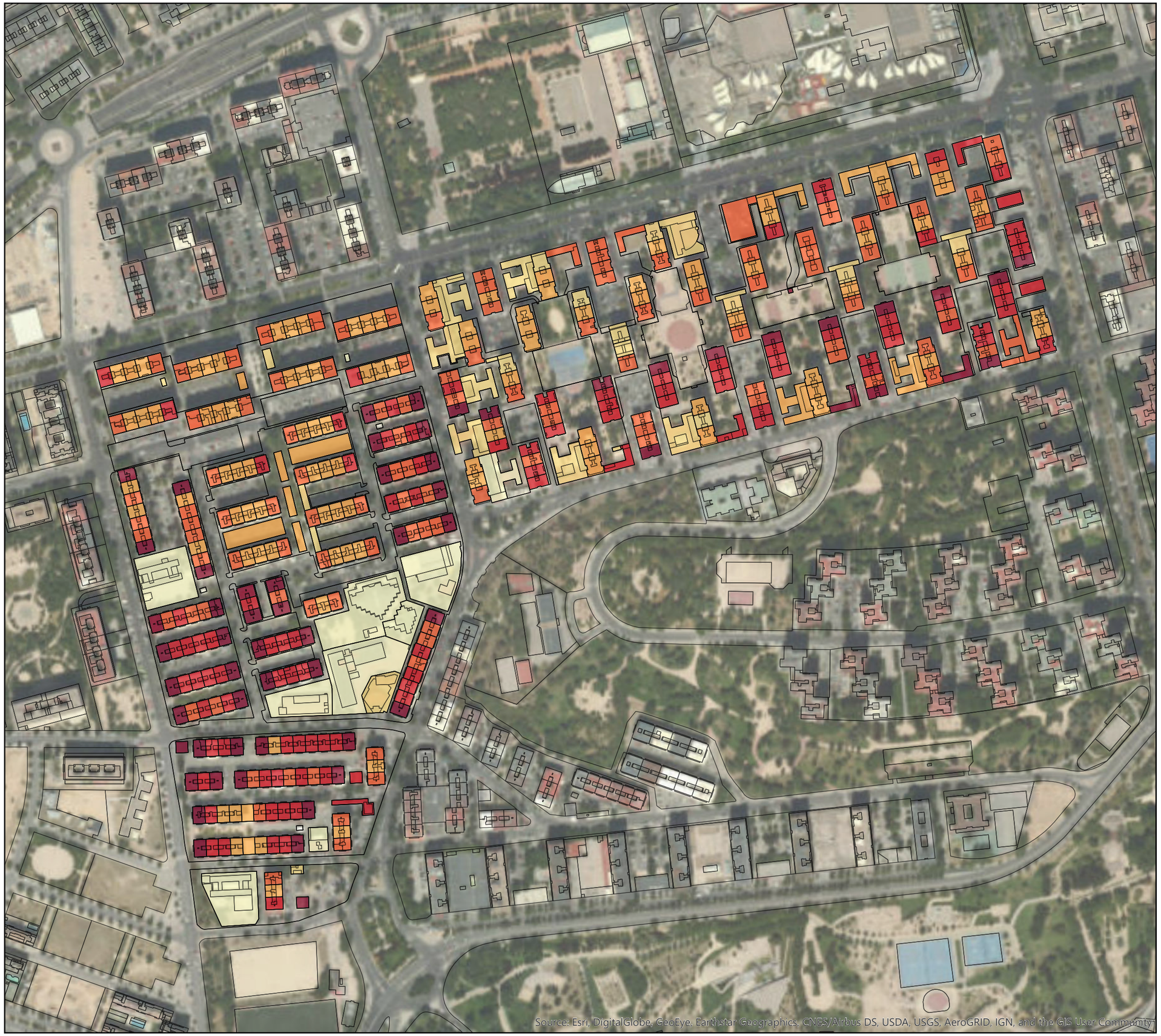
0 40 80 160 Metros

**BH05**
BLOQUE EN H

# Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR



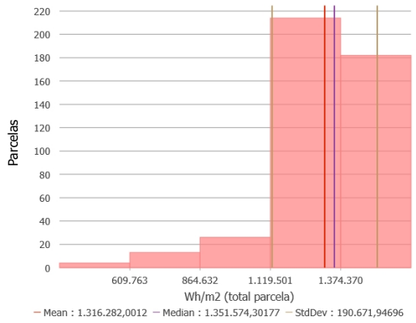

## Tejido urbano: Bloque en H

- Parcelas
- Construcciones según Catastro

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤ 772 kWh/m2
- ≤ 1.071 kWh/m2
- ≤ 1.275 kWh/m2
- ≤ 1.383 kWh/m2
- ≤ 1.487 kWh/m2
- ≤ 1.629 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




N

0 40 80 160 Metros

# BH06
BLOQUE EN H

## Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.upm

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

## Tejido urbano: Bloque en H

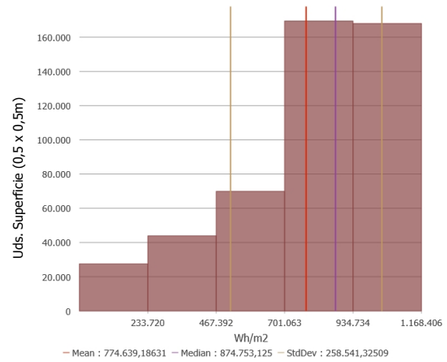
Parcelas

Construcciones según Catastro

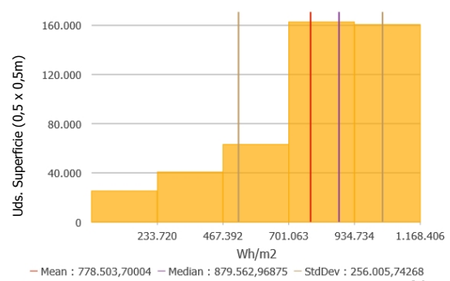
Irradiación

- <= 179 kWh/m2
- <= 344 kWh/m2
- <= 504 kWh/m2
- <= 651 kWh/m2
- <= 784 kWh/m2
- <= 898 kWh/m2
- <= 999 kWh/m2
- <= 1.168 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar de octubre a mayo, por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar de octubre a mayo, en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

0 40 80 Metros 160

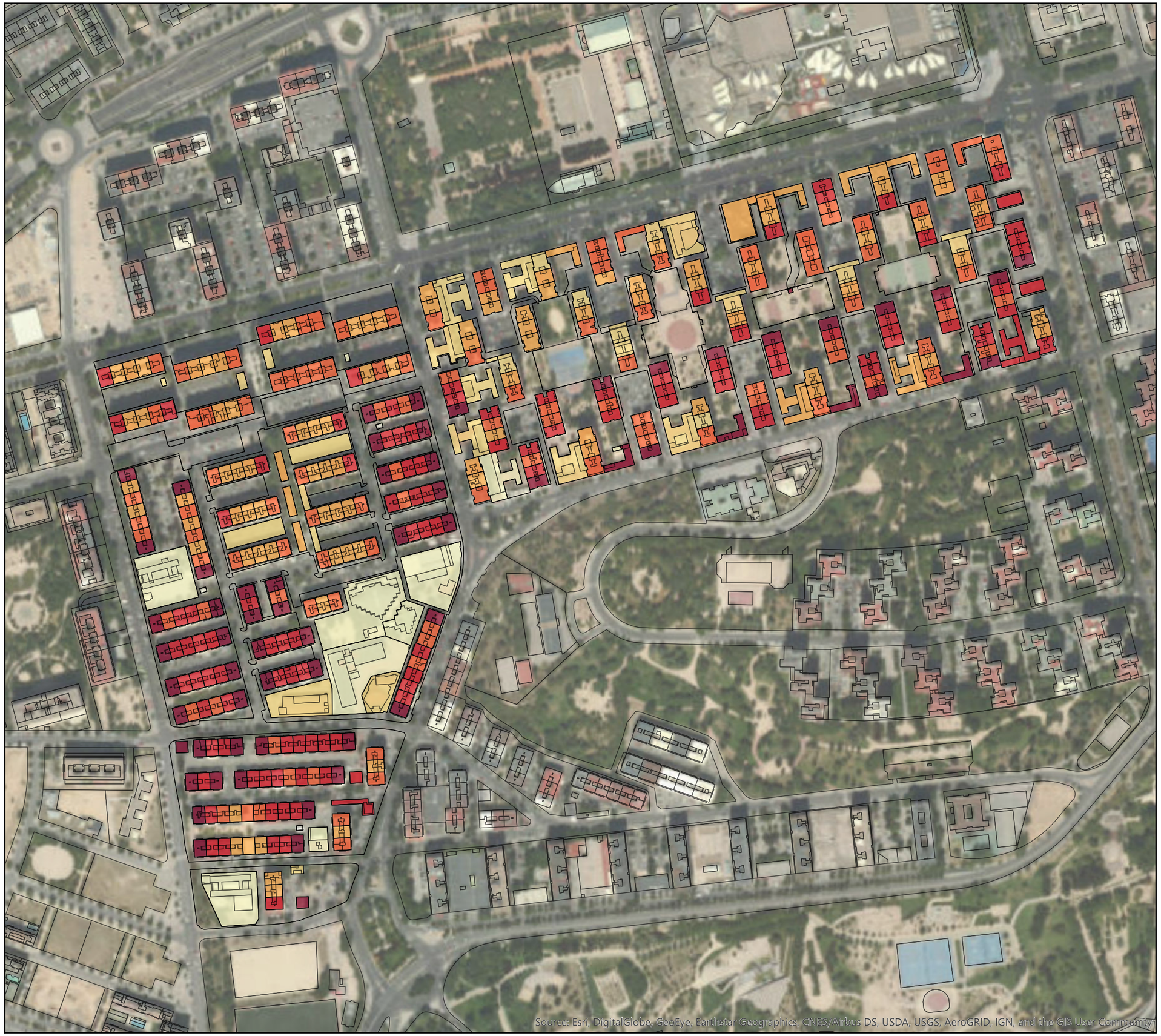
**BH07**
BLOQUE EN H

# Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s (UPM) abio

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR



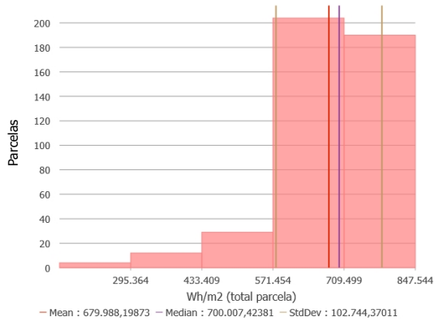

## Tejido urbano: Bloque en H

- Parcelas
- Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤ 391 kWh/m2
- ≤ 544 kWh/m2
- ≤ 657 kWh/m2
- ≤ 712 kWh/m2
- ≤ 772 kWh/m2
- ≤ 848 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo




N

0 40 80 Metros 160

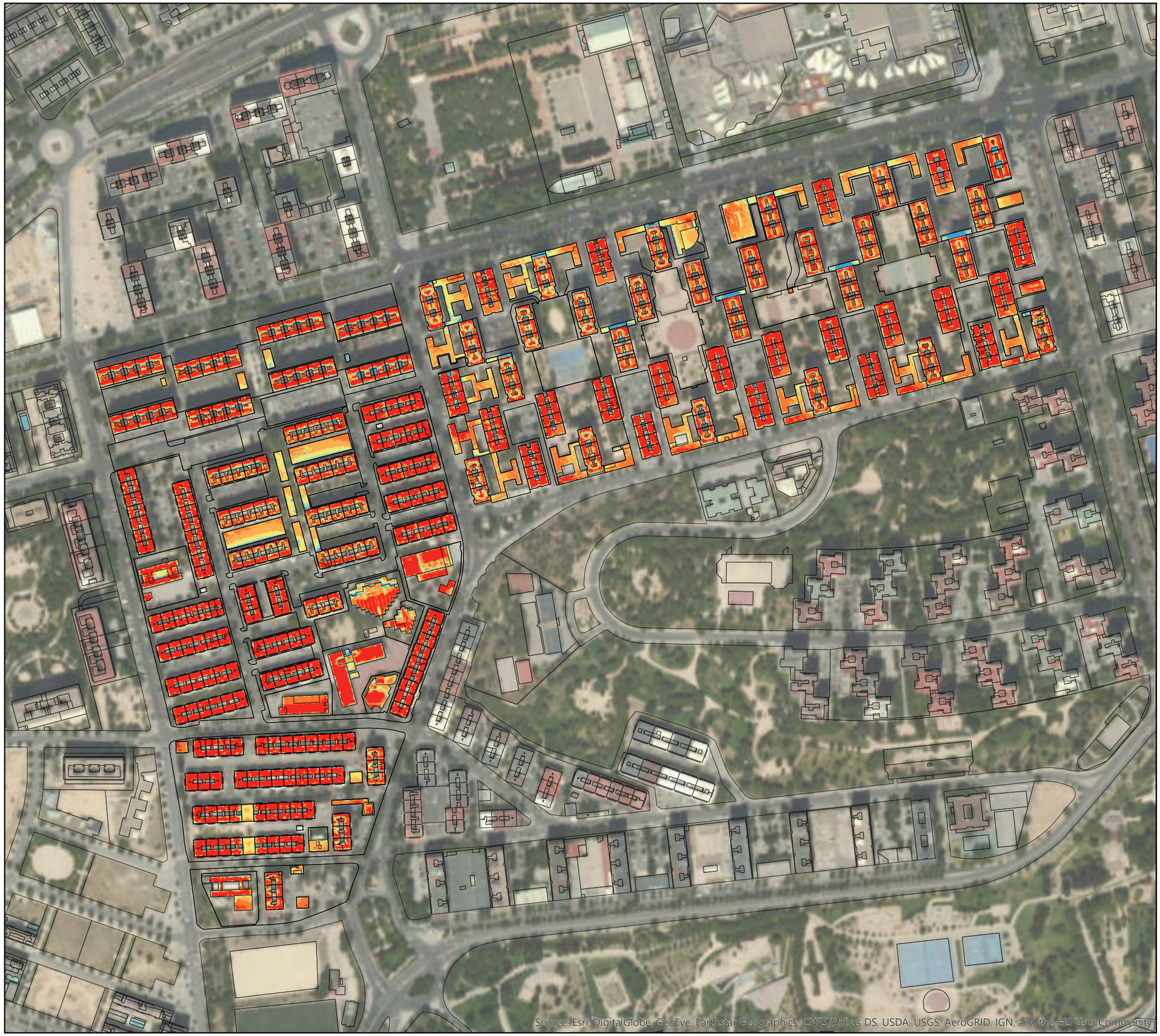
# BH08
BLOQUE EN H

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaut's (UPM) ABIO

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




# Tejido urbano: Bloque en H

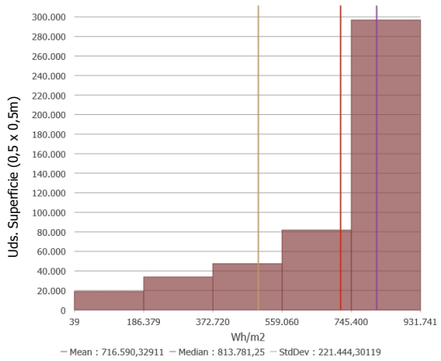
Parcelas

Construcciones según Catastro

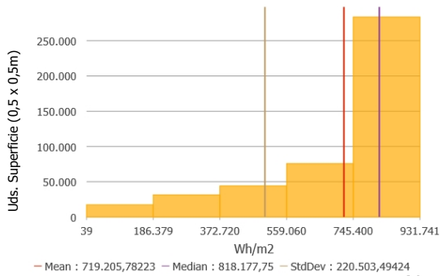
Irradiación

- <= 146 kWh/m2
- <= 285 kWh/m2
- <= 413 kWh/m2
- <= 533 kWh/m2
- <= 650 kWh/m2
- <= 753 kWh/m2
- <= 840 kWh/m2
- <= 932 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar por unidad de cubierta, de junio a septiembre




Histograma de Irradiación solar en cubiertas planas por unidad de cubierta, de junio a septiembre




N

0 40 80 Metros 160

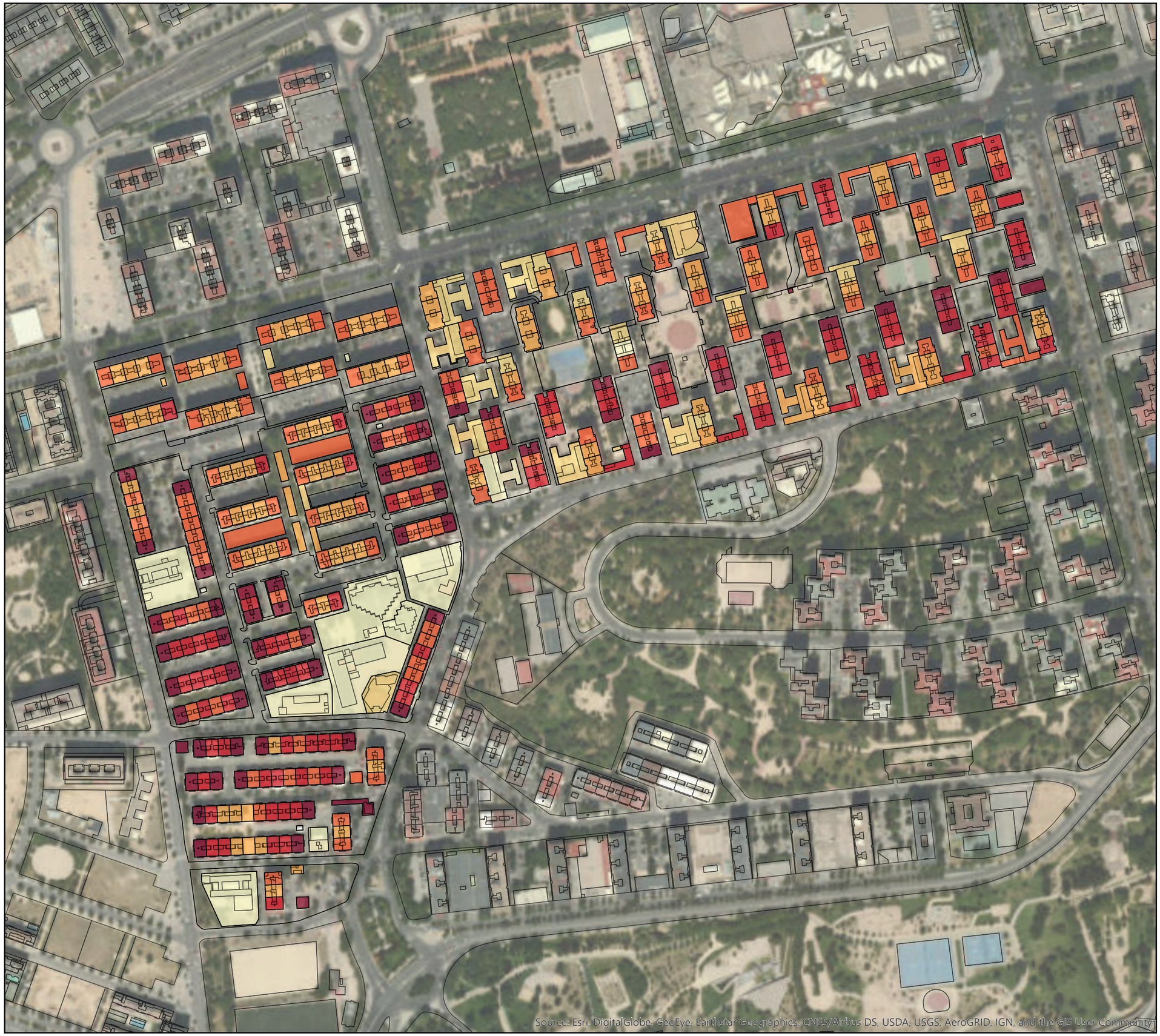
**BH09**
BLOQUE EN H

## Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) ABIO.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR




## Tejido urbano: Bloque en H

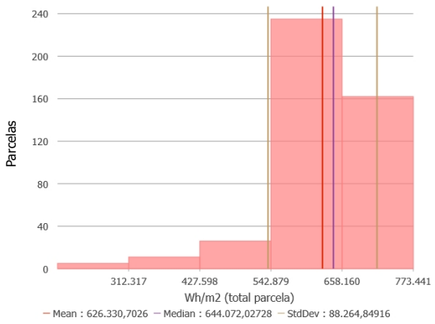
Parcelas

Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre

- ≤ 375 kWh/m2
- ≤ 503 kWh/m2
- ≤ 601 kWh/m2
- ≤ 655 kWh/m2
- ≤ 706 kWh/m2
- ≤ 773 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar media por parcela, de junio a septiembre




Metros

0 40 80 160

N

**BH10**
BLOQUE EN H

Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

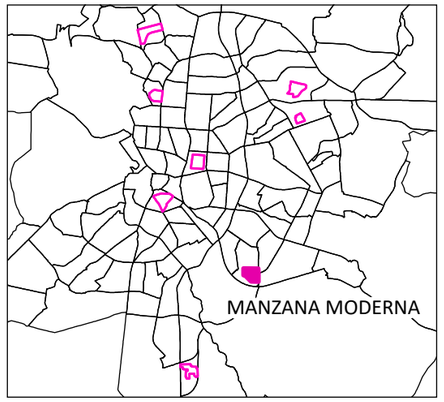
DUyOT · giaus (UPM) · abio

Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · Instituto de Energía Solar

# II.h. Manzana moderna

## Tejido urbano: Manzana Moderna

- Parcelas del área de estudio
- Manzanas del área de estudio
- Construcciones según Catastro
- Area de estudio




Mapa llave: Ubicación del caso de estudio

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 20 40 80 Metros

N

**MM01** MANZANA MODERNA

Ubicación del área de estudio en el barrio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giaus (UPM) · abio

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

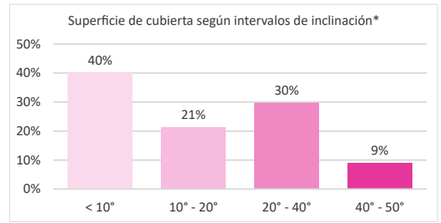
# Tejido urbano: Manzana Moderna

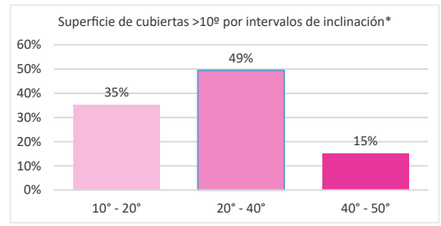
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

Inclinación en cubierta*

- ≤ 10 º
- 11º - 20º
- 21º - 40º
- 41º - 50º
- 51º - 70º




* Los datos se corresponden con el porcentaje de unidades de superficie de cubierta (0,5x0,5m) con cada inclinación, no con el porcentaje de cubiertas de edificios según inclinación.

Las unidades de cubierta > 50º se corresponden generalmente con planos verticales existentes (casetones, petos, etc.). Para más información, consultar la metodología.

0 20 40 80 Metros

N

MM02 MANZANA MODERNA

## Inclinación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus (UPM) abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## Tejido urbano: Manzana Moderna

- Parcelas del área de estudio
- Construcciones según Catastro

Tipo de cubierta

- Inclinada
- Plana

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 20 40 80 Metros

N

**MM03** MANZANA MODERNA

Cubiertas planas e inclinadas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.com
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Manzana Moderna

Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

Orientación de cubierta

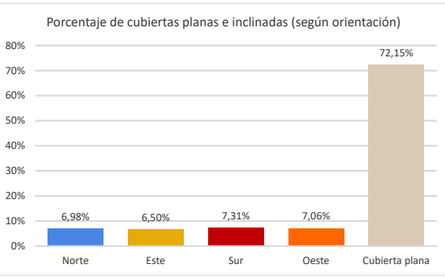
Inclinada Norte (315º - 45º)

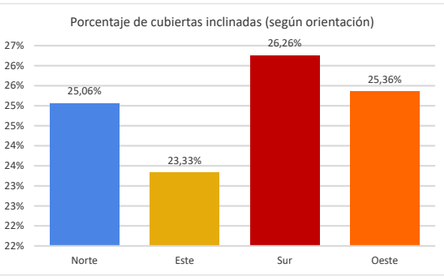
Inclinada Este (45º - 135º)

Inclinada Sur (135º - 225º)

Oeste (225º - 315º)

Plana




Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 20 40 80 Metros

N

**MM04** MANZANA MODERNA

## Orientación de cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Manzana Moderna

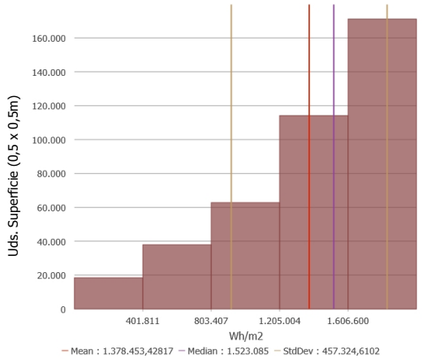
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

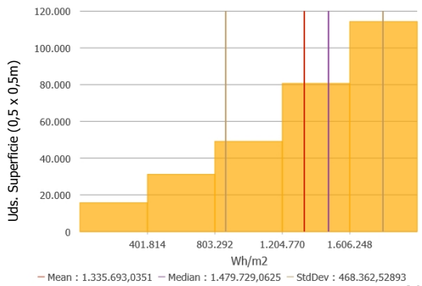
Irradiación

- ≤ 347 kWh/m2
- ≤ 630 kWh/m2
- ≤ 898 kWh/m2
- ≤ 1.142 kWh/m2
- ≤ 1.370 kWh/m2
- ≤ 1.583 kWh/m2
- ≤ 1.772 kWh/m2
- ≤ 2.008 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

0 20 40 80 Metros

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

**MM05** MANZANA MODERNA

## Irradiación solar anual sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.com
Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Universidad Politécnica de Madrid · Instituto de Energía Solar

# Tejido urbano: Manzana Moderna

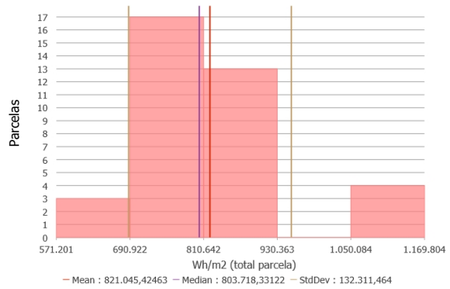
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

- ≤ 625 kWh/m2
- ≤ 736 kWh/m2
- ≤ 781 kWh/m2
- ≤ 829 kWh/m2
- ≤ 878 kWh/m2
- ≤1.170 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




0 20 40 80 Metros

N

**MM06** MANZANA MODERNA

## Irradiación solar anual media en cubierta por parcela

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giau+s (UPM) abio

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO

POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# Tejido urbano: Manzana Moderna

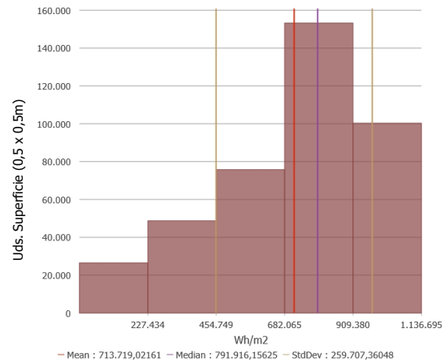
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

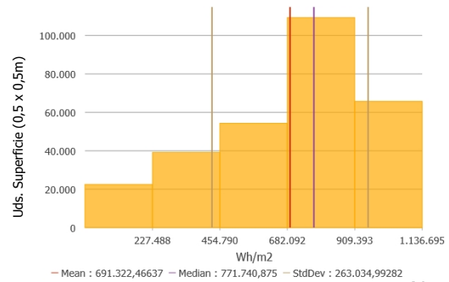
Irradiación solar de octubre a mayo

- ≤183 kWh/m2
- ≤ 325 kWh/m2
- ≤ 468 kWh/m2
- ≤ 606 kWh/m2
- ≤ 740 kWh/m2
- ≤ 860 kWh/m2
- ≤ 976 kWh/m2
- ≤ 1.137 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

0 20 40 80 Metros

**MM07** MANZANA MODERNA

## Irradiación solar de octubre a mayo sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio

Gobierno de España · Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · 40 · Instituto de Energía Solar

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

# Tejido urbano: Manzana Moderna

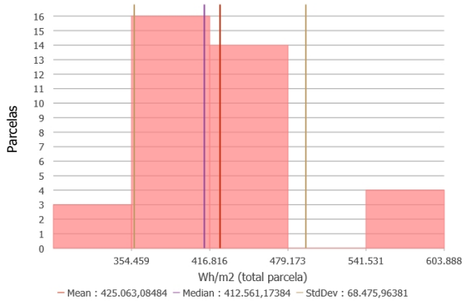
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de octubre a mayo

- ≤ 326 kWh/m2
- ≤ 384 kWh/m2
- ≤ 404 kWh/m2
- ≤ 433 kWh/m2
- ≤ 455 kWh/m2
- ≤ 604 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

N

0 20 40 80 Metros

**MM08** Irradiación solar media en cubierta por parcela, de octubre a mayo

MANZANA MODERNA

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT giaus(UPM) abio.upm
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO
POLITÉCNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Manzana Moderna

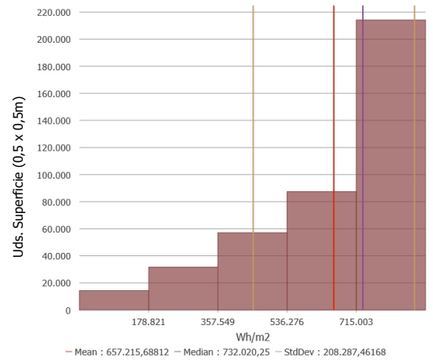
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

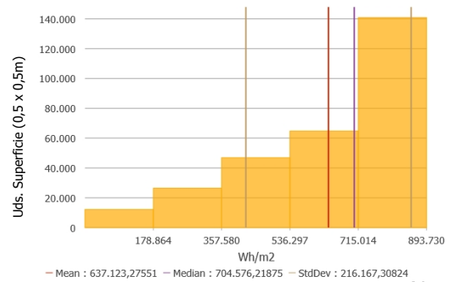
Irradiación solar de junio a septiembre

- ≤ 161 kWh/m2
- ≤ 298 kWh/m2
- ≤ 414 kWh/m2
- ≤ 519 kWh/m2
- ≤ 620 kWh/m2
- ≤ 719 kWh/m2
- ≤ 806 kWh/m2
- ≤ 894 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual por unidad de cubierta




Histograma de Irradiación solar anual en cubiertas planas por unidad de cubierta




N

0 20 40 80 Metros

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## MM09
MANZANA MODERNA

## Irradiación solar de junio a septiembre sobre cubiertas del área de estudio

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.com

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE FOMENTO · POLITÉCNICA · UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

# Tejido urbano: Manzana Moderna

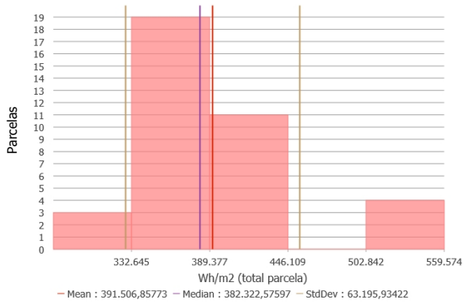
Parcelas del área de estudio

Construcciones según Catastro

Irradiación solar media por parcela, de junio a sept.

- ≤ 295 kWh/m2
- ≤ 357 kWh/m2
- ≤ 376 kWh/m2
- ≤ 400 kWh/m2
- ≤ 420 kWh/m2
- ≤ 560 kWh/m2

Histograma de Irradiación solar anual media por parcela




Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

0 20 40 80 Metros

N

**MM10** MANZANA MODERNA

## Irradiación solar media en cubierta por parcela, de junio a septiembre

Estudio sobre el potencial de generación de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios en su contexto urbano

DUyOT · giau+s (UPM) · abio.upm · Gobierno de España, Ministerio de Fomento · Politécnica · Universidad Politécnica de Madrid · Instituto de Energía Solar