



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Expresión gráfica, diseño y proyectos**

**Expresión gráfica en la ingeniería**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

## **Análisis del potencial solar fotovoltaico de un polígono industrial en Cártama (Málaga)**

Grado en

**INGENIERÍA MECÁNICA**

Autor: Beatriz Santaella García

Tutora: Laia Miravet Garret

MÁLAGA, junio de 2023



## RESUMEN

En el presente trabajo de fin de grado se lleva a cabo un análisis de potencial solar fotovoltaico de un polígono industrial situado en el municipio de Cártama, en la provincia de Málaga. El polígono cuenta con un total de 27 naves industriales, las cuales se analizarán de forma individual, así como el polígono completo.

Para desarrollar este análisis se utiliza un modelo geográfico implementado mediante sistemas de información geográfica (SIG) a partir de datos geoespaciales y datos solares, con los cuales se obtienen resultados gráficos y de cálculo que permiten la toma de decisiones. Es por ello que constan de gran importancia los datos iniciales que se obtienen de las diferentes fuentes de información de referencia y que serán la base del desarrollo de este estudio. Se muestra, por tanto, de manera detallada de donde se han obtenido los datos, el tratamiento inicial que ha sido necesario realizar y las distintas herramientas de geoprocésamiento y análisis espacial que se han ido utilizando durante todo el proyecto.

Gran parte de este proyecto trata sobre los pasos realizados para la obtención final de área viable para la instalación de módulo fotovoltaicos. Sin embargo, también se desarrollan otras dos tareas de gran importancia; por un lado, se lleva a cabo un estudio sobre la influencia de la pendiente real de las cubiertas en la estimación de la superficie de tejado con potencial fotovoltaico, ya que en los proyectos SIG existentes en la literatura, determinan estas áreas en proyección horizontal; por otro lado se calcula la potencia que se puede instalar en cada nave y la energía producida en el área obtenida.

**Palabras claves:** Fotovoltaica, SIG, Energías renovables, Polígono Industrial, Cubierta.

<b>1. Introducción.....</b>	<b>10</b>
1.1 Las fuentes de energía: energía solar fotovoltaica.....	10
1.2 Situación actual de la energía fotovoltaica.....	11
1.2.1 La energía fotovoltaica en España.....	13
1.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	14
1.4 Software utilizado.....	15
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>3. Antecedentes y estado del arte.....</b>	<b>17</b>
<b>4. Metodología.....</b>	<b>21</b>
4.1 Cálculo del área con pendiente.....	21
<b>5. Energía solar fotovoltaica.....</b>	<b>22</b>
5.1 Radiación Solar.....	22
5.2 Instalaciones fotovoltaicas.....	23
5.2.1 Elementos de una instalación fotovoltaica.....	24
5.2.2 Ángulo de inclinación y orientación.....	24
5.2.3 Pérdidas de una instalación fotovoltaica.....	25
<b>6. Descripción del área de estudio.....</b>	<b>27</b>
6.1 Emplazamiento.....	27
6.2 Clima.....	28
<b>7. Fuentes de información.....</b>	<b>30</b>
7.1 Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).....	30
7.1.1 PNOA Imagen.....	30
7.1.2 PNOA LiDAR.....	31
7.2 Catastro.....	33
7.3 PVGIS.....	34
7.4 Posición del sol.....	35

<b>8. Preparación de los datos</b> .....	<b>36</b>
8.1 Zona de estudio.....	36
8.2 Datos de partida requeridos para el proyecto.....	36
8.3 Edición de los datos.....	37
<b>9. Tratamiento de los datos</b> .....	<b>44</b>
9.1 Mapa de zonas de paso.....	44
9.2 Mapa de pendientes.....	45
9.3 Mapa de orientaciones.....	46
9.4 Mapa de latitud.....	49
9.5 Mapa de pérdidas según el CTE.....	50
9.6 Mapa de sombras.....	52
9.7 Mapa de sombras y mapa de pérdidas.....	60
9.8 Eliminación de las zonas de paso.....	61
9.9 Resumen estadístico.....	71
<b>10. Resultados y análisis de resultados</b> .....	<b>77</b>
10.1 Métodos de cálculo de influencia de la pendiente.....	77
A) Método 1: mediana de la pendiente de cada nave.....	77
B) Método 2: Mediana de la pendiente de cada paño.....	79
C) Método 3: Mediana de la pendiente de todo el polígono.....	81
D) Método 4: Pendiente independiente de cada píxel.....	82
10.2 Análisis de resultados.....	85
<b>11. Cálculo del potencial solar</b> .....	<b>88</b>
11.1 Potencia instalada.....	88
11.2 Energía.....	91
<b>12. Conclusiones</b> .....	<b>96</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>98</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>102</b>

# Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Aumento de la capacidad de electricidad renovable, 2001-2027. Fuente.: (IEA, 2022).....	12
Ilustración 2. Porcentaje capacidad energía acumulada por tecnología, 2010-2027. Fuente.: (IEA, 2022). ....	12
Ilustración 3. Evolución precio de la luz en mercado mayorista español, 2021-22. Ref.: www.epdata.es.....	13
Ilustración 4. Metodología seguida.....	21
Ilustración 5. Zonas Climáticas. Fuente: CTE DB HE 5 .....	22
Ilustración 6. Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas .....	23
Ilustración 7. Ángulos de inclinación y azimut. Fuente: CTE DB HE5 .....	25
Ilustración 8. Procedimiento de cálculo ángulo óptimo en España. Fuente: www.idae.es.....	25
Ilustración 9. Pérdidas límites según el CTE .....	26
Ilustración 10. Municipio de Cártama en la provincia de Málaga .....	27
Ilustración 11. Vista 3D del Polígono Industrial "El Cerro", Cártama (Málaga). Fuente.: www.google.com .....	27
Ilustración 12. Situación del Polígono Industrial respecto a Cártama. Fuente.: www.google.com .....	28
Ilustración 13. Datos meteorológicos 2022 Aeropuerto de Málaga, AEMET. Fuente.: www.aemet.es .....	28
Ilustración 14. Datos meteorológicos 1981-2010 Aeropuerto de Málaga, AEMET. Fuente.: www.aemet.es .....	29
Ilustración 15. Sistema de coordenadas de Málaga.....	29
Ilustración 16. Ortofoto zona de estudio, escala 1:50.000.....	30
Ilustración 17. Ampliación ortofoto zona de estudio, escala 1:2.500 .....	31
Ilustración 18. Modelo digital de superficies, escala 1:50.000. Ref.:.....	32
Ilustración 19. Modelo digital de superficies de edificación, escala 1:50.000. Ref.: .....	32
Ilustración 20. Ampliación modelo digital superficies de edificación, escala 1:2.500. ....	33
Ilustración 21. Datos Sede Electrónica del Catastro. Fuente.: https://www.sedecatastro.gob.es/ .....	33
Ilustración 22. Herramienta página web PVGIS. Fuente.: www.re.jrc.ec.europa.eu.....	34
Ilustración 23. Interfaz página web SoDa, herramienta Solar Geometry 2. www.soda-pro.com.....	35
Ilustración 24. Límites de la zona de estudio.....	36
Ilustración 25. Inserción de datos en ArcMap.....	37
Ilustración 26. Crear capa tipo 'polígono'.....	37
Ilustración 27. Crear nuevo 'shapefile'.....	37
Ilustración 28. Definición límites zona de estudio en ArcMap.....	38
Ilustración 29. Entidades necesarias para el recorte.....	38
Ilustración 30. Herramienta 'Recortar' .....	38
Ilustración 31. Entidades de entrada ('constru') y de recorte ('límites polígono').....	39
Ilustración 32. Entidad de salida ('constru cartama'), capa 'constru' recortada .....	39
Ilustración 33. Recorte capa 'Modelo Digital de Superficie', escala 1:1.500 .....	40
Ilustración 34. Recorte capa 'Modelo Digital de Superficies de Edificación', escala 1:1.500.....	40
Ilustración 35. Recorte capa 'Constru', escala 1:1.500 .....	41
Ilustración 36. Recorte capa 'Masa', escala 1:1.500.....	41
Ilustración 37. Recorte capa 'Parcela', escala 1:1.500.....	42
Ilustración 38. Recorte capa 'Elementex', escala 1:1.500 .....	42
Ilustración 39. Recorte capa 'Límites', escala 1:1.500 .....	43
Ilustración 40. Entidades 'Zona de influencia' .....	44
Ilustración 41.Herramienta 'Zona de influencia' .....	44
Ilustración 42. Resultado mapa de zonas de paso. Escala 1:1.500.....	44
Ilustración 43. Entidades herramienta 'Pendiente' .....	45
Ilustración 44. Herramienta 'Pendiente' .....	45
Ilustración 45. Resultado mapa de pendientes. Escala 1:1.500 .....	45
Ilustración 46. Valor exacto de un píxel seleccionado con la herramienta 'Identificar'.....	46
Ilustración 47. Herramienta 'Orientación' .....	46
Ilustración 48. Entidades herramienta 'Orientación' .....	46
Ilustración 49. Resultado mapa de orientaciones. Escala 1:1.500 .....	47
Ilustración 50. Interfaz 'Calculadora ráster' .....	47

Ilustración 51. Herramienta 'Calculadora ráster' .....	47
Ilustración 52. Intervalos de clasificación utilizados .....	48
Ilustración 53. Mapa resultado de la reclasificación. Escala 1:1.500. ....	48
Ilustración 54. Simbología inicial .....	48
Ilustración 55. Clasificación anterior y final de la orientación según el CTE .....	48
Ilustración 56. Herramienta 'Calculadora ráster' .....	49
Ilustración 57. Resultado mapa de latitud. Escala a:1.500. ....	49
Ilustración 58. Herramienta 'Calculadora ráster' .....	50
Ilustración 59. Resultado mapa de pérdidas. Escala 1:1.500. ....	50
Ilustración 60. Validez o no de los píxeles según CTE .....	51
Ilustración 61. Clasificación con valor de ruptura 20%. ....	51
Ilustración 62. Mapa de pérdidas ajustado al CTE. ....	51
Ilustración 63. Mapa de superficie tomada para el estudio de sombra. Escala 1:96.516 .....	52
Ilustración 64. Rásters MDS zona de sombras .....	53
Ilustración 65. Entidades herramienta 'De mosaico a nuevo ráster' .....	53
Ilustración 66. Herramienta 'De mosaico a nuevo ráster' .....	53
Ilustración 67. Resultado mapa MDS en un solo ráster .....	54
Ilustración 68. Entidades herramienta 'Sombreado' .....	55
Ilustración 69. Mapa 21_01_10_ns, sombras día 21 del mes de enero a las 10 horas. ....	55
Ilustración 70. Herramienta 'Sombreado' .....	55
Ilustración 71. Mapa generado para horas 10 a 16 de cada día 21 de cada mes del año 2022 .....	56
Ilustración 72. Mapa de sombras mes de enero. ....	57
Ilustración 73. Mapa de sombras generado para cada mes del año 2022. ....	58
Ilustración 74. Herramienta 'Calculadora ráster' .....	58
Ilustración 75. Mapa de sombras del año 2022 completo. ....	59
Ilustración 76. Capa añadida para recortar la zona deseada. ....	59
Ilustración 77. Mapa de sombras en el polígono industrial de Cártama. ....	60
Ilustración 78. Herramienta 'Calculadora ráster' .....	60
Ilustración 79. Mapa píxeles válidos por pérdidas y sombras .....	61
Ilustración 80. Mapa de píxeles válidos sobre mapa de zonas de paso .....	61
Ilustración 81. Entidades herramienta 'Extraer por máscara' .....	62
Ilustración 82. Herramienta 'Extraer por máscara' .....	62
Ilustración 83. Resultado mapa 'Extracción por máscara' .....	62
Ilustración 84. Selección en capa 'parcela_cartama' .....	63
Ilustración 85. Capa 'parcela_cartama' .....	63
Ilustración 86. Digitalización de las naves industriales. ....	63
Ilustración 87. Entidades herramienta 'Unión espacial' .....	64
Ilustración 88. Herramienta 'Unión espacial' .....	64
Ilustración 89. Información capa 'constru_cartama' .....	64
Ilustración 90. Capa origen 'CUBIERTAS NAVES' sin información .....	65
Ilustración 91. Capa resultado 'cubiertasrefcat' con información asignada. ....	65
Ilustración 92. Entidades herramienta 'Disolver' .....	66
Ilustración 93. Capa 'naverefcat', escala 1:1.500. ....	66
Ilustración 94. Herramienta 'Disolver' .....	66
Ilustración 95. Entidades herramienta 'Zona de influencia' .....	67
Ilustración 96. Mapa naves sin zonas de paso, escala 1:1.500. ....	67
Ilustración 97. Mapa paños sin zonas de paso, escala 1:1.500. ....	67
Ilustración 98. Entidades entrada herramienta 'De ráster a polígono' .....	68
Ilustración 99. Herramienta 'De ráster a polígono' .....	68
Ilustración 100. Capa polígono de capa 'polígono válido' .....	68
Ilustración 101. Entidades de entrada herramienta 'Intersecar' para paños .....	69
Ilustración 102. Herramienta 'Intersecar' .....	69
Ilustración 103. Entidades de entrada herramienta 'Intersecar' para naves .....	69
Ilustración 104. Capa polígono de píxeles válidos en cada nave .....	69

Ilustración 105. Capa polígono de píxeles válidos en cada paño .....	69
Ilustración 106. Entidades herramienta 'Recortar un ráster' .....	70
Ilustración 107. Herramienta 'Recortar un ráster' .....	70
Ilustración 108. Mapa de píxeles válidos de cada paño .....	70
Ilustración 109. Mapa de píxeles válidos de cada nave .....	70
Ilustración 110. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	71
Ilustración 111. Herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	71
Ilustración 112. Tabla resumen estadístico píxeles válidos por nave .....	71
Ilustración 113. Entidades herramienta 'Unión' .....	72
Ilustración 114. Herramienta 'Unión' .....	72
Ilustración 115. Tabla 'constru+píxeles_válidos' .....	73
Ilustración 116. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	73
Ilustración 117. Tabla resumen estadístico píxeles válidos por paño .....	74
Ilustración 118. Entidades herramienta 'Unión' .....	74
Ilustración 119. Tabla 'constru+píxeles_válidos_FID' .....	75
Ilustración 120. Mapa paños y naves sin zonas de paso .....	76
Ilustración 121. Cálculos estadísticos pendiente según naves .....	77
Ilustración 122. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	77
Ilustración 123. Cálculo columna 'AUMENTO' .....	78
Ilustración 124. Cálculo columna 'AREA REAL' .....	78
Ilustración 125. Valor real con pendiente de cada nave .....	78
Ilustración 126. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	79
Ilustración 127. Cálculos estadísticos de pendiente según paños .....	79
Ilustración 128. Cálculo columna 'AUMENTO' .....	80
Ilustración 129. Cálculo columna 'AREA REAL' .....	80
Ilustración 130. Valor real con pendiente de cada nave .....	80
Ilustración 131. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	81
Ilustración 132. Cálculo estadísticos pendiente polígono entero .....	81
Ilustración 133. Valor real con pendiente de cada píxel .....	81
Ilustración 134. Entidades herramienta 'Calculadora ráster' .....	82
Ilustración 135. Capa ráster área de cada píxel .....	82
Ilustración 136. Entidades herramienta 'Recortar' .....	83
Ilustración 137. Capa ráster de píxeles con área real .....	83
Ilustración 138. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	84
Ilustración 139. Cálculos estadísticos área de cada nave .....	84
Ilustración 140. Valor real con pendiente de cada píxel .....	85
Ilustración 141. Fórmula cálculo potencia instalada .....	89
Ilustración 142. Potencia instalada en cada paño .....	89
Ilustración 143. Potencia instalada real en cada paño .....	90
Ilustración 144. Entidades herramienta 'Radiación solar global' .....	91
Ilustración 145. Herramienta 'Radiación solar de áreas' .....	91
Ilustración 146. Herramienta 'Radiación solar global' .....	92
Ilustración 147. Mapa de irradiación solar anual .....	92
Ilustración 148. Fórmula cálculo energía .....	92
Ilustración 149. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' .....	92
Ilustración 150. Energía producida en cada paño .....	93
Ilustración 151. Energía real producida en cada paño .....	94
Ilustración 152. Generación anual de energía fotovoltaica en TFG previo. Fuente: Domene Fort, 2021. ....	95

# 1. Introducción

## 1.1 Las fuentes de energía: energía solar fotovoltaica

El cambio climático es un fenómeno global que se produce por el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente debido a las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. Este aumento provoca un calentamiento global, lo que tiene graves consecuencias para el medioambiente y la vida humana, como el aumento del nivel del mar, desertificación, pérdida de biodiversidad y la aparición de eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones y tormentas. La mitigación del cambio climático es fundamental para proteger nuestro planeta y nuestras vidas, y se puede lograr a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la transición hacia una economía sostenible y descarbonizada, es decir, utilizando energías renovables.

Las energías renovables forman parte de uno de los dos grupos principales de fuentes de energía, el otro grupo está formado por las fuentes no renovables.

Las energías no renovables utilizan combustibles fósiles como son el petróleo, el gas natural y el carbón, por lo que son susceptibles de agotamiento, y su demanda energética es cada día mayor. El uso de estas energías es uno de los principales causantes del cambio climático, provocan un deterioro del medioambiente, el cual se encuentra ya en una crítica situación debido a la acción humana. Cuando estos combustibles son quemados para producir energía, liberan dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. Estos gases retienen el calor en la Tierra y causan un aumento de la temperatura global. Además, también tiene otros efectos negativos como la contaminación del aire, el agua y el suelo.

En el otro grupo se encuentran las energías renovables, capaces de generar electricidad a partir del sol, el viento y el agua, fuentes inagotables de la naturaleza. Son importantes porque tienen un bajo impacto ambiental y pueden ayudar a reducir la dependencia de combustibles fósiles. Están siendo muy demandadas en los últimos años, su uso está en expansión, sin embargo, todavía tienen grandes dificultades de almacenamiento, pero cada vez son más competitivas en términos de costo y pueden ser una fuente rentable de energía a largo plazo. Entre las energías renovables destaca la energía solar fotovoltaica, fuente de energía en la que se centra el presente trabajo de fin grado. Ésta es una tecnología que convierte la energía solar directamente en electricidad utilizando paneles solares compuestos de células fotovoltaicas. Estas células están hechas de materiales semiconductores que liberan

electrones cuando la luz solar incide sobre ellas, generando una corriente eléctrica. La energía solar fotovoltaica es una forma limpia y sostenible de generar electricidad, y con una alta fiabilidad y durabilidad de los paneles solares. Es una fuente de energía cada vez más utilizada en todo el mundo para la generación de electricidad en hogares, edificios y plantas solares a gran escala.

## **1.2 Situación actual de la energía fotovoltaica**

"La primera crisis energética verdaderamente global, desencadenada por la invasión rusa de Ucrania, ha provocado un impulso sin precedentes para las energías renovables." (*Renewables 2022 – Analysis - IEA*, s. f.). Las interrupciones en el suministro de combustibles fósiles han subrayado los beneficios de seguridad energética de la electricidad renovable generada internamente, lo que ha llevado a muchos países a fortalecer las políticas de apoyo a las energías renovables. Además, el aumento de los precios de los combustibles fósiles en todo el mundo ha mejorado la competitividad de la energía solar fotovoltaica y eólica frente a otros combustibles.

El incremento de la capacidad renovable en los próximos cinco años será mucho más rápido de los que se esperaba hace apenas un año. Durante 2022-2027 se prevé un crecimiento de las energías renovables de casi 2400 GW, equivalente a toda la capacidad de energía instalada en China en la actualidad. Esto significa una aceleración del 85% con respecto a los cinco años anteriores y casi un 30% más que lo pronosticado en el informe 'Renewables 2022' de la *Agencia Internacional de la Energía (IEA)*. Este aumento está impulsado principalmente por China, la Unión Europea, los Estados Unidos y la India, que están implementando políticas existentes y reguladoras del mercado, al tiempo que se introducen otras nuevas más rápidamente de lo esperado en reacción a la crisis energética. El 14º Plan Quinquenal y las reformas del mercado de China, el plan REPowerEU y la Ley de Reducción de la Inflación de EE. UU. son los principales impulsores de las previsiones realizadas.

"Las energías renovables se convertirán en la mayor fuente de generación de electricidad mundial a principios de 2025, superando al carbón." (IEA, 2022). Se prevé que su participación en la combinación de energía aumente en 10 puntos porcentuales durante el período de pronóstico, alcanzando el 38% en 2027. Las energías renovables son la única fuente de generación de electricidad cuya participación se espera que crezca, con una disminución del carbón, el gas natural, la energía nuclear y el petróleo. La electricidad de la energía eólica y

solar fotovoltaica se duplicará con creces en los próximos cinco años, proporcionando casi el 20 % de la generación de energía mundial en 2027.

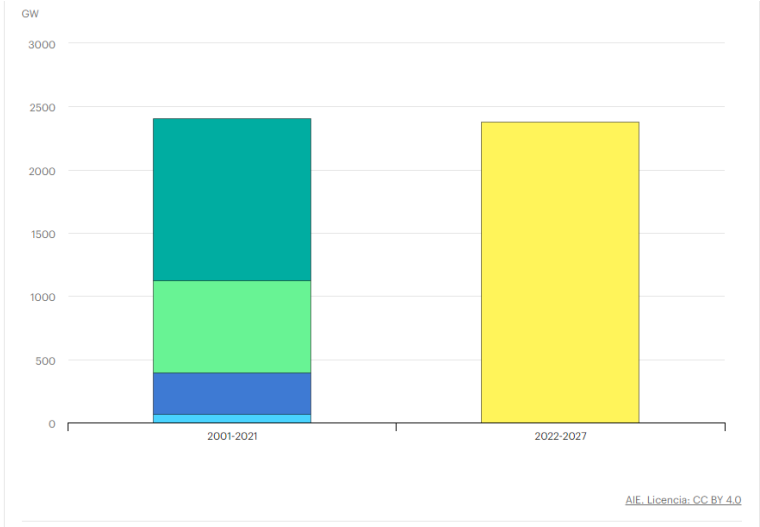


Ilustración 1. Aumento de la capacidad de electricidad renovable, 2001-2027. Fuente.: (IEA, 2022).

La capacidad de energía instalada de la energía solar fotovoltaica está a punto de superar la del carbón para 2027, convirtiéndose en la más grande del mundo. La capacidad acumulada de energía solar fotovoltaica casi se triplicará, con un crecimiento de casi 1 500 GW durante los próximos cinco años, superando al gas natural en 2026 y al carbón en 2027. A pesar de los mayores costos de inversión actuales debido a los elevados precios de los productos básicos, la energía solar fotovoltaica a gran escala es la opción más barata para generar energía en un gran número de países en todo el mundo.

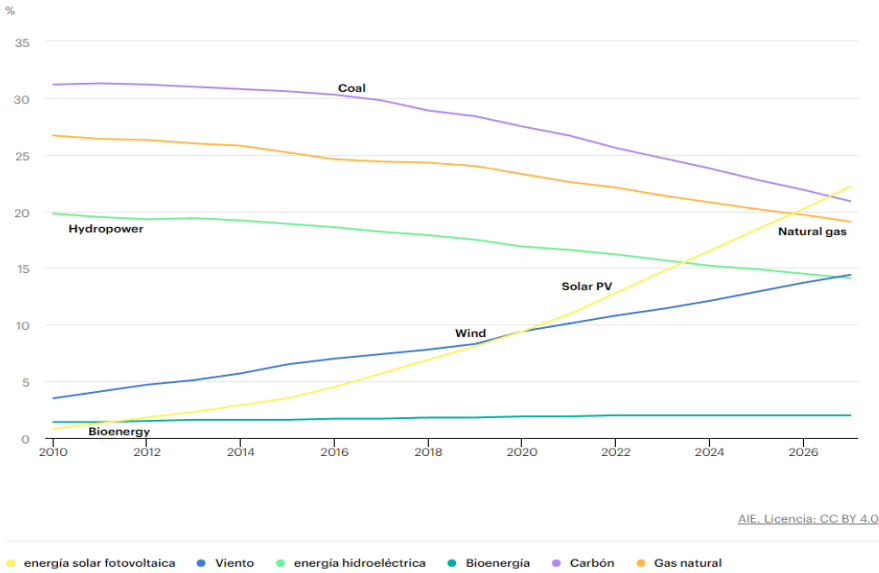


Ilustración 2. Porcentaje capacidad energía acumulada por tecnología, 2010-2027. Fuente.: (IEA, 2022).

### 1.2.1 La energía fotovoltaica en España

El aumento de los precios de la energía está teniendo consecuencias tanto en los hogares españoles, así como en la combinación de las diferentes fuentes de energía que se usan para generar electricidad (mix energético). Se ha producido también un aumento del precio del gas, lo que ha incrementado el precio de la electricidad. Todo ello ha provocado el impulso del uso de la energía solar en todo el país. El precio de la electricidad se ha multiplicado por 5 en los últimos 3 años.

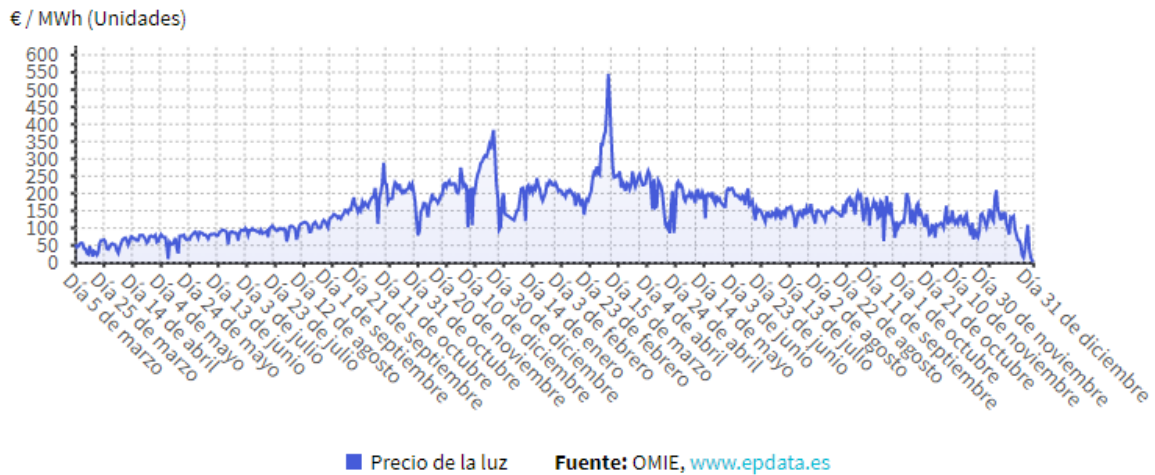


Ilustración 3. Evolución precio de la luz en mercado mayorista español, 2021-22. Ref.: [www.epdata.es](http://www.epdata.es)

Ha quedado en evidencia la importancia del gas ruso para toda la Unión Europea, lo que ha generado que todos los gobiernos de la UE empiecen a buscar alternativas más limpias y económicas a largo plazo. En 2021 las energías renovables superaron por primera vez a los combustibles fósiles en el mix energético. La descarbonización de la economía ya no tiene marcha atrás y la energía solar adquiere cada día un papel más importante.

A fecha de septiembre de 2022, la *Red Eléctrica Española* proporcionó datos en los que se manifestaba que la potencia solar fotovoltaica se había triplicado en los últimos 3 años. De 4767 MW que había en 2019 se pasó a 15190 MW a finales de 2021, es decir, la energía solar pasó de cubrir un 3,55% de la energía total a 8,05%. (Flores, 2022)

En España, la energía fotovoltaica experimentó su mayor auge en el año 2008 gracias a las políticas implementadas por el gobierno que incentivaron el desarrollo mediante primas a las renovables (*BOE-A-2007-15822 Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.*, s.f.), no obstante, este crecimiento se vio frenado casi completamente en consecuencia a la posterior crisis financiera y a la incertidumbre, lo que se prolongó hasta el año 2018. En este mismo año se llevó a cabo la

derogación del conocido como “impuesto al Sol”, establecido 3 años antes, y que provocó pérdidas irrecuperables para los inversores e importantes gastos para quienes optaron por esta forma de energía. A partir de 2019 la situación cambió, se produjeron crecimientos muy importantes en los siguientes años. Esto es consecuencia del incremento de las ayudas y subvenciones gubernamentales, medidas también encaminadas a cumplir con los objetivos marcados por las instituciones comunitarias. La Unión Europea ha financiado desde 2021 numerosos proyectos de instalaciones fotovoltaicas tanto de grandes inversores como de usuarios particulares, gracias a los fondos ‘Next Generation’. (*Next Generation EU: Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2023*)

La organización sobre energías renovables REN21, conformada por distintos gobiernos, entidades privadas y ONGs, publicó su último informe en 2019, donde exponía que España ocupa la octava posición mundial en energías renovables, y la cuarta en energía fotovoltaica, justo por debajo de Alemania. (Citric, s. f.)

### **1.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés) son herramientas informáticas que permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos espaciales georreferenciados para la toma de decisiones. Estos datos pueden incluir información sobre la ubicación, la topografía, la población, el clima, la vegetación y otros aspectos geográficos del planeta. Los SIG se utilizan en una amplia variedad de campos, desde la planificación urbana y la gestión del medioambiente hasta la agricultura y la gestión de desastres. Por ejemplo, pueden ser utilizados para crear mapas interactivos que muestren la ubicación de los servicios públicos, como hospitales o estaciones de policía, para ayudar en la planificación de emergencias. También se pueden usar para estudiar la distribución de la población, migración de animales, la erosión del suelo y muchos otros fenómenos geográficos.

Una de las aplicaciones más importantes de los Sistemas de Información Geográfica es su uso en la industria de la energía solar fotovoltaica. Sirven para analizar y planificar proyectos solares a través de los datos geoespaciales.

Los SIG permiten realizar estudios de potencial fotovoltaico en zonas a gran escala (Montecino Huedo, 2016; A. Ávila, 2014; J. Domínguez, 2018b), en las que realizar una estimación de dicho potencial conllevaría un costo de medios y personal excesivo. Ayudan a

identificar los lugares más adecuados para la construcción de proyectos solares mediante el análisis de la disponibilidad y la intensidad de la radiación solar en diferentes áreas geográficas, o los obstáculos potenciales, como edificios o árboles, que pueden reducir la cantidad de luz que llega a los paneles solares.

#### **1.4 Software utilizado**

El software utilizado para el desarrollo de este trabajo de fin de grado es ArcGIS. ArcGIS es una plataforma de software desarrollada por ESRI que permite trabajar con datos geoespaciales. Proporciona herramientas para capturar, almacenar, administrar, analizar y visualizar datos geoespaciales. Puede utilizarse para crear mapas interactivos, realizar análisis espaciales y generar información geográfica útil para la toma de decisiones en diferentes industrias y sectores, como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la logística, la gestión de emergencias, la salud pública y muchos otros.

Dentro de esta plataforma, el componente utilizado es ArcGIS Desktop, conjunto de aplicaciones de escritorio para la creación y edición de mapas. ArcMap es uno de sus programas principales. ArcMap proporciona una interfaz gráfica de usuario intuitiva que permite trabajar con datos en capas, donde cada capa representa un conjunto de elementos geográficos. (*Qué es ArcMap—ArcMap | Documentación*, s. f.)

## 2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo de fin de grado es evaluar el potencial solar fotovoltaico de un polígono industrial en el municipio de Cártama, Málaga, calculando primero la superficie idónea para la instalación de placas fotovoltaicas en las cubiertas.

Se analizarán las diferentes naves industriales para calcular la potencia que se puede instalar en dichas áreas y la capacidad del polígono de producir energía través de módulos fotovoltaicos. Para llevar a cabo este análisis se tendrán en cuenta aspectos clave en estas instalaciones como son la orientación de las cubiertas, la inclinación, la radiación solar o las sombras, entre otros. Se realizará mediante un modelo gráfico y de cálculo basado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se adaptará a partir del desarrollado por gSolarRoof "Characterization and implementation of a GIS for improvement the integration of PV panels in urban areas", desarrollado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) en colaboración con Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid UPM. Con este TFG se va a realizar una aportación a esta metodología que consiste en la consideración de la pendiente real de las cubiertas en la estimación del área de tejado disponible para la instalación de placas fotovoltaicas.

Los Sistemas de Información Geográfica, al realizar el modelo gráfico, producen numerosos y pequeños píxeles de datos de proyecciones horizontales del terreno, lo cual puede causar un cierto error cuando la superficie estudiada tiene una determinada inclinación o pendiente. Por tanto, el segundo objetivo de este proyecto será realizar una investigación sobre la influencia que los Sistemas de Información Geográfica tienen en la evaluación del potencial solar fotovoltaico al no tener en cuenta dicha pendiente.

Los objetivos secundarios del trabajo según la metodología seguida son:

- Tratamiento y análisis de los datos de la zona de estudio.
- Generar y estudiar diferentes mapas según los tipos de pérdidas que puedan influir en la instalación.
- Analizar cada uno de los resultados que se obtienen en los diferentes pasos para evitar errores y garantizar calidad en los datos finales que se obtengan.

### 3. Antecedentes y estado del arte

Antes del desarrollo del presente trabajo de fin de grado se ha llevado a cabo una investigación y estudio de artículos, libros y ensayos científicos relacionados con el objetivo de estudio. Se ha analizado cómo ha evolucionado este ámbito hasta la fecha de presentación de este proyecto.

El origen de los Sistemas de Información geográfica está relacionado con la aparición de los primeros ordenadores, poco después surgieron los conceptos de geografía computacional y cuantitativa, y con ello aparecieron los sistemas de información geográfica. Es una tecnología que cuenta ya con décadas de historia, se ha utilizado ampliamente en diferentes campos de planificación territorial, sin embargo, en los últimos años se está dando a conocer significativamente debido al aumento del uso de las energías renovables y la relación que los SIG tienen con éstas.

Esto se puede observar en los diferentes trabajos, tesis o artículos que se han tenido en cuenta para la recopilación de información.

El origen y avance que han tenido los Sistemas de Información Geográfica se puede consultar en un artículo publicado ya en 1986, el cual resaltaba la generalización del uso del término SIG y como había evolucionado este campo en esas últimas décadas. Este es “Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos.”, escrito por Juan A. Cebrián y David M. Marck, publicado en *Estudios Geográficos* en julio-septiembre de 1986. Se revisan los principales aspectos de la tecnología de los SIG, los diferentes modelos de datos espaciales y su tratamiento.

También se obtiene información acerca de la situación española de esta tecnología en la década de los años 90 mediante otro artículo publicado en 1997 por Alfonso Rubio Barroso y Javier Gutiérrez Puebla, denominado “Los sistemas de información geográficos: origen y perspectivas.”. Trata sobre el dinamismo y la novedad de este campo y el efecto que en el momento de la publicación tenía en la sociedad. Hablan de un futuro esperanzador para los SIG.

A partir de los años 2000 se empieza a hablar ya de la aplicación de los Sistemas de información Geográfica en el entorno de las energías renovables. Se pueden destacar aquellos artículos que han tenido mayor trascendencia en los últimos años, y que han servido de apoyo y consulta para el presente trabajo de fin de grado:

- En diciembre del año 2000 el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) publica un informe técnico sobre “Los Sistemas de Información Geográfica en la integración regional de energías renovables”, publicado por Julio Amador Guerra y Javier Domínguez Bravo. Se exponen conclusiones acerca de la aplicación de los SIG a las energías renovables, evaluación y control de resultados de esta implantación.
- “El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos” es publicado en 2008 por María Ester Arancibia. Expone los pasos metodológicos que se han de tener en cuenta para realizar un plan estratégico de energía, en función de la zona de estudio y de la herramienta utilizada.
- “Aplicación de conjuntos de datos LiDAR y un modelo basado en GIS para evaluar el potencial solar sobre techos.”. Artículo publicado en 2015 por Ana M. Martín, Javier Domínguez y Julio Amador en 2015. Se describen diferentes metodologías a seguir para analizar el potencial solar en entornos urbanos.
- También publicado por Ana M. Martín, Javier Domínguez y Julio Amador y en el mismo año, 2015, destaca “Desarrollo de un modelo geográfico para la evaluación del potencial fotovoltaico en entornos urbanos.”. Se realiza una estimación de consumo energético de una zona de estudio determinado mediante el programa ArcGIS.
- Para el estudio de la generación de energía solar es importante tener conocimiento acerca de la radiación solar, por ello también destaca “Determinación con tecnologías S.I.G. de la radiación solar de edificios en zonas urbanas de Ávila, España.”, desarrollado por Franklin A. Mendoza en 2015.
- En 2017, Kai Mainzer, Sven Killinger, Russell McKeen y Wolf Fichtner, publican “Evaluación de los potenciales fotovoltaicos den el techo a nivel urbano utilizando geodatos disponibles al público y técnicas de reconocimiento de imágenes.”. Estudio realizado en la ciudad de Friburgo, Alemania, en el que se concluye que se puede mitigar en gran cantidad las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la generación de energía renovable producida a través de paneles fotovoltaicos.
- En los últimos años se están llevando a cabo políticas acerca de energías renovables, los SIG también pueden ser de ayuda en este ámbito. En 2018 se publicó un estudio sobre esto “Sistemas de información geográfica como apoyo a las políticas de fomento del autoconsumo solar en el ámbito municipal. Aplicación del modelo GSOLARROOF en el municipio de Alpedrete, España.”, se quería dotar al Ayuntamiento de información sencilla y verdadera sobre el potencial solar de los edificios municipales. Artículo publicado por Ana M. Martín, Javier Domínguez y Julio Amador en el XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar en Madrid en junio de 2018.

- Entre proyectos que no han sido realizados en España, destaca la Tesis desarrolla por Lena A. Zapata Mandujano sobre “Potencial fotovoltaico en los techos de las edificaciones de la Universidad Nacional Agraria la Molina.” en Lima, Perú, en el año 2019. También la Tesis perteneciente a Roberts A. Ríos Pereyra “Selección de sitios idóneos para el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos de gran escala mediante análisis multicriterio AHP-GIS.”, en Lima, Perú en el año 2020.
- También en el Principado de Andorra se ha llevado a cabo un estudio acerca del potencial energético de las ciudades “Hacia la autosuficiencia energética de las ciudades. Análisis del potencial solar fotovoltaico a escala urbana en el Principado de Andorra.”, artículo publicado con conclusiones muy satisfactorias sobre la cantidad de demanda energética que se puede llegar a cubrir con instalaciones fotovoltaicas en todos los tejados de los edificios. Estudio realizado por Patricia Borges, Marc Vilella y Oriol Travesset-Baro en el año 2021.
- También en la Comunidad Valencia se han llevado a cabo estudios con metodología y herramientas GIS. En 2021, Sonia M.<sup>a</sup> Sandoval Valmaña (Universidad Politécnica de Valencia) centró su trabajo fin de máster en “Implementación de una metodología GIS para la localización óptima de plantas fotovoltaicas en la Comunidad Valenciana.”
- En la Universidad de Zaragoza, Alejandro Moraleja Segura, realizó su trabajo de fin de máster basado en “Estimación del potencial fotovoltaico de las cubiertas de equipamientos públicos en la ciudad de Zaragoza” mediante datos LiDAR y herramientas SIG, año 2021.
- En otros países se publican artículos relacionados con este ámbito de estudio. Por ejemplo, en Italia, en 2021, “A GIS Open-Data Co-Simulation Platform for Photovoltaic Integration in Residential Urban Areas” por Marco Massano, Enrico Macii, Andrea Lanzini, Edoardo Patti y Lorenzo Bottaccioli. En Reino Unido, en 2022, “Investigating the suitability of GIS and remotely-sensed datasets for photovoltaic modelling on building rooftops” por David Gawley y Paul McKenzie. Y en China, en 2023, “Solar energy potential using GIS-based urban residential environmental data: A case study of Shenzhen, China”, por Yaning An, Tianyi Chen, Lei Shi, Chye Kiang Heng y Jinglin Fan.

En conclusión, se puede observar, debido al aumento de publicaciones, como desde el año 2015 el uso de los Sistemas de Información Geográfica en la aplicación de energías renovables ha tenido un crecimiento exponencial. Además, dentro del territorio español es algo que se lleva a cabo en todas las comunidades, y también es un ámbito de estudio destacado a nivel internacional.

Respecto al primer objetivo señalado anteriormente de este trabajo de fin de grado, los proyectos de consulta más representativos para obtención de información, apoyo y comparación de resultados, debido al uso de tecnologías y metodologías similares son:

- Trabajo fin de máster “Modelo Geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra.”, por Ana María Martín Ávila (Universidad Complutense de Madrid), año 2014.
- Trabajo fin de máster “Estudio sobre la evaluación del potencial fotovoltaico en el polígono industrial de Coslada.”, por Patricia Montecino Huedo (Universidad Complutense de Madrid), año 2016.

El segundo objetivo de este proyecto no ha sido objeto de numerosos estudios, más allá de ser mencionado en algún apartado de las publicaciones mencionadas anteriormente. Hay un único artículo que trata el tema de las pérdidas o la fiabilidad de los datos de manera extensa, este es “Desarrollo de un modelo geográfico de alta resolución para la estimación de la energía solar en entornos urbanos e industriales. Análisis de resultados e idoneidad de las fuentes de datos.”, realizado por Ana M. Martín Ávila y Javier Domínguez Bravo en 2021.

## 4. Metodología

Este trabajo se ha llevado a cabo desarrollando un modelo geográfico en el software ArcGIS. Antes han sido necesarios dos pasos previos. El primero ha sido definir la zona de estudio, ya que datos como su área o la situación geográfica serán de influencia en este estudio.

El segundo paso previo ha sido el de la obtención de los datos de partida de las diferentes fuentes de información. Las fuentes consultadas han sido el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), la sede electrónica del catastro, la página web herramienta PVGIS de la Unión Europea y la página web Solar Energy Services for Professionals o SoDa.

Una vez que se cuenta con los datos iniciales se puede comenzar la preparación de éstos en el programa ArcMap. Se lleva a cabo una preparación de los datos, escogiendo aquellos que son referentes a la zona de estudio.

Cuando ya se tiene los datos deseados acerca del polígono industrial, se inicia el análisis y la aplicación de diferentes herramientas y cálculos para alcanzar los objetivos deseados. Se realizan diferentes mapas como son: mapa de las zonas de paso, mapa de pendientes, mapa de orientaciones, mapa de latitud, mapa de pérdidas, mapa de sombras, mapa que cumple las condiciones de pérdidas y sombras y ya por último se obtiene los mapas con las áreas viables para instalación de módulos fotovoltaicos.

Posteriormente se siguen diferentes métodos o caminos, para el estudio de la influencia de la pendiente en el área obtenida hasta ese momento. Se comparan y se analizan estos resultados.

Por último, ya se puede calcular el potencial solar fotovoltaico del polígono industrial, se calcula por un lado la potencia instalada y por otro lado la energía producida según el área resultado.

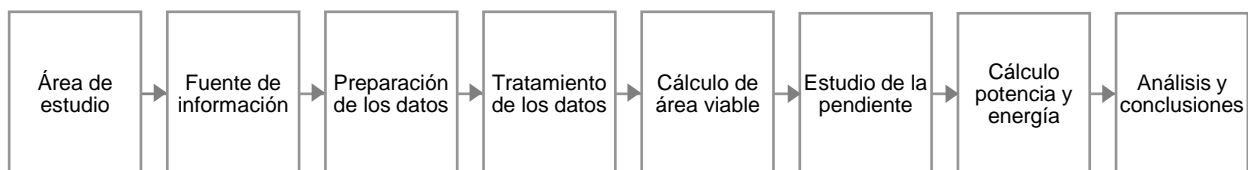


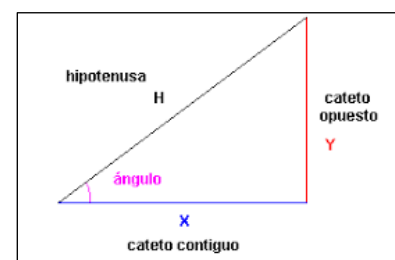
Ilustración 4. Metodología seguida

### 4.1 Cálculo del área con pendiente

Para calcular el área con el dato de la pendiente (en grados), se utiliza el coseno de ese ángulo de pendiente o inclinación.

Siendo cateto contiguo el área en proyección horizontal y la hipotenusa el área con la pendiente o inclinación. Esta área última se calculará aplicando lo siguiente:

$$\cos(\text{ángulo de pendiente}) = \frac{\text{área horizontal}}{\text{área con pendiente}}$$



## 5. Energía solar fotovoltaica

### 5.1 Radiación Solar

La irradiación solar ( $\frac{J}{m^2}$  o  $\frac{Wh}{m^2}$ ) es la magnitud que mide la radiación que incide durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada (energía).

La irradiancia solar se refiere a la radiación que llega a una superficie en un determinado momento y se mide en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). En la superficie de la atmósfera, la irradiancia normal directa proveniente del sol es de  $1367 W/m^2$ , y se conoce como la constante solar. Sin embargo, al considerar la superficie terrestre, la cual es relevante para la instalación de sistemas fotovoltaicos, se ha adoptado a nivel internacional el valor de  $1000 W/m^2$  como la radiación solar estándar en condiciones ideales de insolación y de incidencia perpendicular al sol. Esta convención se utiliza como referencia en el diseño y evaluación de instalaciones fotovoltaicas. (Instalaciones de energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red | IDAE, s.f.)

En el caso de España, la irradiancia media varía según la región en la que nos encontremos. Aunque las regiones del norte de España a veces se consideran menos adecuadas para la energía fotovoltaica, en realidad reciben más radiación solar anual en comparación con la media de Alemania, un país que se encuentra entre los líderes en energía solar, como se mencionó anteriormente.

Para clasificar las diferentes zonas en función de la irradiancia o radiación solar media diaria anual sobre la superficie horizontal, se han establecido 5 zonas diferentes.

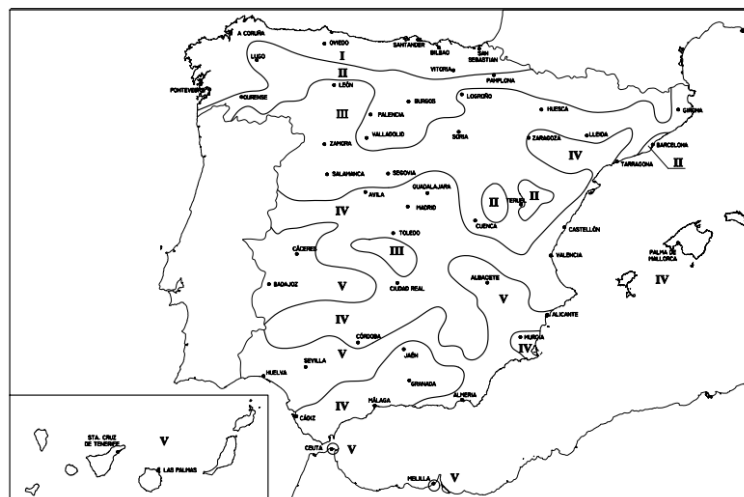


Ilustración 5. Zonas Climáticas. Fuente: CTE DB HE 5

Tanto en las herramientas de la Unión Europea (PVGIS) como en el Código Técnico de la Edificación se puede encontrar esta clasificación de zonas climáticas, y además ofrecen información detallada sobre cada provincia y localidad.

Es importante señalar que, en el CTE DB de Ahorro de Energía en la Sección HE5, se establece la obligación de que los edificios de nueva construcción y los edificios ampliados o reformados que superen los  $1000m^2$  construidos generen una cantidad mínima de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. A lo largo de los años, este requisito de superficie construida mínima ha ido disminuyendo, lo cual refleja la proyección de futuro que tienen las energías renovables en nuestro país.

## 5.2 Instalaciones fotovoltaicas

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes diseñados para aprovechar la energía solar y convertirla en energía eléctrica utilizable. Está compuesto por diferentes elementos, entre los que se incluyen los paneles solares, encargados de absorber y convertir la luz solar en electricidad. También cuenta con un inversor solar, cuya función es transformar la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna. Además, se requiere un sistema de montaje, cableado y otros elementos eléctricos para asegurar el correcto funcionamiento y conexión del sistema.

Los sistemas fotovoltaicos pueden encontrarse en una amplia gama de aplicaciones, desde instalaciones con capacidades que van desde unos pocos kilovatios hasta centrales eléctricas de cientos de megavatios. Existen dos categorías principales: los sistemas aislados, que funcionan de manera autónoma sin estar conectados a la red eléctrica, y los sistemas conectados a la red, que están integrados en la red eléctrica.

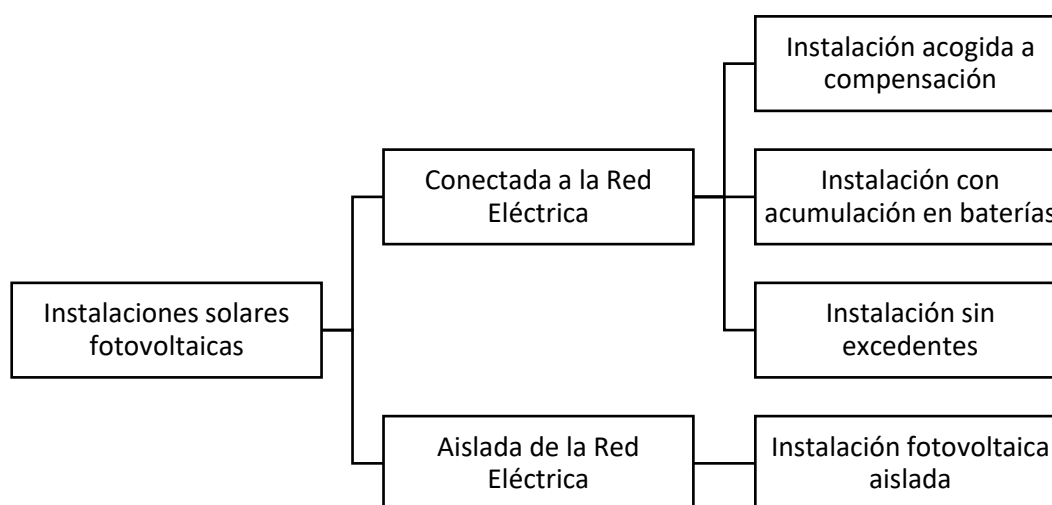


Ilustración 6. Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas

Las instalaciones aisladas son aquellas que no están conectadas a la red. La energía producida se utiliza en el mismo lugar en el que se está la instalación, se evita así depender de la red eléctrica. Es la mejor opción para edificios que están lejos de la red. Pueden ser con y sin acumulación.

Las instalaciones conectadas a la red eléctrica **priorizan** la energía solar para el autoconsumo mientras está disponible y, cuando no, se obtiene energía de la red. Hay tres tipos **de instalaciones en función** de la gestión de **los** excedentes. Acogida a compensación: Se inyecta energía a la red eléctrica y se recibe una compensación a cambio. Con acumulación de baterías: Los excedentes de energía se almacenan en baterías para su consumo en momentos sin radiación solar. Sin excedentes: Se consume energía de la red sin realizar inyecciones adicionales, utilizando un mecanismo anti vertido para evitar la devolución de energía a la red.

### **5.2.1 Elementos de una instalación fotovoltaica**

La instalación fotovoltaica está formada por un generador fotovoltaico (conjunto de paneles fotovoltaicos cuya asociación serie-paralelo en diferentes ramas forma el generador, un inversor, una sección de distribución, protección eléctrica y un contador. Además, pueden contar con un controlador o regulador de carga y baterías para el subsistema de acumulación.

Hay otros elementos importantes en la instalación como son el cableado, los soportes o fijaciones de los paneles o el uso de otros dispositivos como convertidores continua-continua o dispositivos de control.

### **5.2.2 Ángulo de inclinación y orientación**

La orientación idónea para un panel situado en España es la orientación sur, ya que es la orientación para la que se produce la mayor captación de radiación solar.

El acimut ( $\alpha$ ) se define como la desviación angular respecto a la orientación sur perfecta, entonces, si el acimut es cero ( $\alpha = 0$ ), se trata de orientación sur perfecta.

El ángulo de inclinación ( $\beta$ ) tiene como objetivo que la radiación solar sea lo más perpendicular posible a la superficie del panel, para maximizar así la radiación capturada y la energía producida durante todo el año.

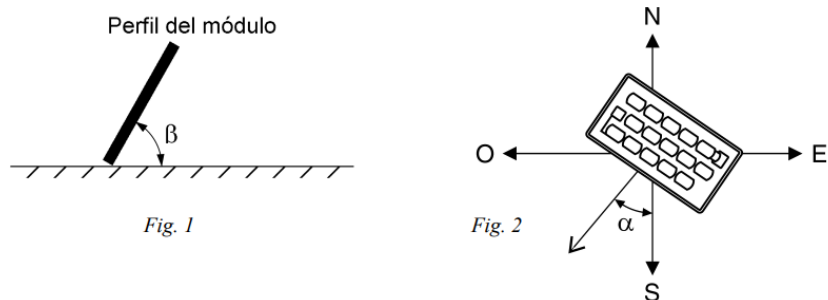


Ilustración 7. Ángulos de inclinación y azimut. Fuente: CTE DB HE5

El ángulo de inclinación óptimo se calcula por tanto según la latitud de emplazamiento. En el Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones Fotovoltaicas del IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*) se indica el procedimiento recomendado a seguir para calcular el ángulo óptimo en España:

Periodo de diseño	$\beta_{opt}$	$K = \frac{G_{dm}(\alpha=0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$
Diciembre	$\phi + 10$	1,7
Julio	$\phi - 20$	1
Anual	$\phi - 10$	1,15

Ilustración 8. Procedimiento de cálculo ángulo óptimo en España. Fuente: www.idae.es

### 5.2.3 Pérdidas de una instalación fotovoltaica

La eficiencia de una instalación fotovoltaica se ve influida por numerosos factores que provocarán pérdidas. Podemos diferenciar las pérdidas según el motivo de su causa:

- Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos.** En algunas ocasiones, los módulos fotovoltaicos no alcanzan la potencia nominal estimada debido a variaciones en el proceso de fabricación, ya que no todos los módulos son idénticos. Esta información se proporciona en la ficha técnica del módulo y es suministrada por el fabricante.
- Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas.** La producción de energía de un sistema fotovoltaico disminuye en climas cálidos en comparación con climas fríos, a pesar de recibir la misma cantidad de radiación solar. Esto se debe a que, según las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes, a temperaturas más altas, la tensión disminuye, lo que afecta al rendimiento del módulo y, por tanto, a la producción de energía.
- Pérdidas debidas a la acumulación de polvo y suciedad.** La suciedad y el polvo en la superficie de los paneles fotovoltaicos reducen la potencia generada. La

suciedad uniforme disminuye la corriente y la tensión del generador, mientras que la suciedad localizada, como por ejemplo pueden ser los excrementos de aves, aumenta las pérdidas debido a la formación de puntos calientes.

- d) **Pérdidas por sombras.** Las pérdidas causadas por estructuras cercanas, como edificios, y elementos naturales, como montañas o árboles, deben ser consideradas. Además, también se deben tener en cuenta las pérdidas por sombreado entre paneles fotovoltaicos.
- e) **Pérdidas eléctricas.** Las pérdidas en corriente continua y corriente alterna no deben exceder el 1% y 3%, respectivamente, según la Guía Técnica de Aplicación: Instalaciones Interiores del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- f) **Pérdidas debidas al ángulo de inclinación de los módulos.** Las pérdidas debidas a la variación del ángulo de inclinación real respecto del ángulo de inclinación óptimo vienen definidas, en el Código Técnico de la Edificación, según la siguiente expresión:

$$Pérdidas (\%) = 100 \cdot (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2)$$

Donde  $\beta$  es ángulo de inclinación real,  $\phi$  es la latitud de la instalación y  $\alpha$  es el acimut.

En este proyecto se van a tener en cuenta aquellas pérdidas que no tienen que ver con los propios módulos fotovoltaicos, si no con dónde se ha realizado la instalación de dichos módulos. Es decir, se va a estudiar la viabilidad de instalación de placas solares debido a la pendiente de la cubierta donde se va a realizaría la instalación, la orientación y las sombras que puedan tener dichas cubiertas del polígono industrial objetivo.

Se tendrá en cuenta para ello las especificaciones del CTE donde se indica que las pérdidas límites de orientación e inclinación para módulos superpuestos en cubiertas de edificios, no pueden ser superiores al 20%.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Ilustración 9. Pérdidas límites según el CTE

## 6. Descripción del área de estudio

### 6.1 Emplazamiento

El presente trabajo se desarrolla sobre el área de estudio del polígono industrial “El Cerro” en Cártama, Málaga. El municipio de Cártama se sitúa en la comarca del Valle del Guadalhorce. Al sur se encuentra la Sierra de Cártama, en el centro y el norte se extienden un conjunto de colinas onduladas con palmitos y retamas, y al oeste se halla la Sierra de Gibralgalia, repleta de encinas y algarrobos. (Ayuntamiento de Cártama, 2023)



*Ilustración 10. Municipio de Cártama en la provincia de Málaga.*

El polígono industrial tiene una superficie de unos  $50.000\text{ m}^2$  y se localiza a latitud  $36^{\circ}43'09''$  N y longitud  $4^{\circ}37'10''$  O, a unos 20 kilómetros del centro de la ciudad de Málaga, con la cual se conecta mediante la autovía A-357. Está apartado unos 2 kilómetros del municipio de Cártama, en una zona de escasa vegetación o no de gran tamaño y de gran llanura, por lo que es considerada una zona idónea para la instalación de paneles solares ya que no contará con elementos que hagan sombra sobre el sistema.

El polígono está formado por 27 naves, la superficie de cubierta de las naves industriales está establecido en el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Málaga y en la normativa del polígono.



*Ilustración 11. Vista 3D del Polígono Industrial "El Cerro", Cártama (Málaga). Fuente.: [www.google.com](http://www.google.com)*



Ilustración 12. Situación del Polígono Industrial respecto a Cártama. Fuente.: www.google.com

## 6.2 Clima

Málaga tiene un clima mediterráneo y seco, aunque puede variar según la zona. Suele presentar una baja oscilación térmica, siendo los inviernos cortos y suaves. Mientras que los veranos son largos, secos y calurosos.

Los datos climatológicos más adecuados para el municipio de Cártama son los recogidos en la estación meteorológica más cercana, la del Aeropuerto de Málaga. Los datos para esta estación del año 2022 recogidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2023) son los siguientes:

MES	TEMPERATURA (C)								PRECIP. (mm)		VIENTO. (Km/h)		FENOM.	
	MEDIA				MAX				MAX	DIA	MAX	DIA	TS	GR
AÑO	MAX	DIA	MIN	DIA	MAX	DIA	MIN	DIA	MAX	DIA	MAX	DIA	TS	GR
2022 02	18.4	04,,	12.6	08	24.1	03	4.7	02	2.0	24	58.0	16	0	0
2022 03	18.4	03	12.2	06	23.8	03	6.1	06	46.8	15	79.9	25	3	0
2022 04	23.6	17	12.2	03	33.1	17	7.4	03	7.7	22	68.0	22	1	0
2022 05	28.0	23	16.7	04	34.7	23	12.0	01	5.9	03	54.0	23	0	0
2022 06	29.0	25	21.7	07	37.8	08	17.1	06	0.0	00	54.0	08	0	0
2022 07	32.3	26	22.2	01	40.7	26	18.1	01	0.3	02	26.7	01	0	0
2022 08	32.7	14	23.8	21	39.2	13	19.2	21	1.3	28	23.7	16,,	2	0
2022 09	31.2	02	21.4	30	37.3	07	15.5	30	1.3	29	32.4	29	1	0
2022 10	23.8	26	18.4	01	30.8	16	12.7	01	1.8	10	21.1	18	0	0
2022 11	22.8	04	11.4	30	26.7	04	5.2	30	4.9	18	33.5	22	0	0
2022 12	19.0	13	12.6	02,,	24.0	12	5.2	31	45.6	09	34.4	05	3	0
2023 01	18.2	10	8.0	29	22.1	09	1.1	29	10.8	24	38.2	16	1	0

Ilustración 13. Datos meteorológicos 2022 Aeropuerto de Málaga, AEMET. Fuente.: www.aemet.es

La Agencia Estatal de Meteorología también proporciona datos medios para la estación meteorológica del Aeropuerto de Málaga entre los años 1981 y 2010, donde se obtienen datos como el número mensual de días despejados y las horas de sol totales.

MES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temperatura media (°C)	12,1	12,9	14,7	16,3	19,3	23,0	25,5	26,0	23,5	19,5	15,7	13,2	18,5
Temperatura media máxima (°C)	16,8	17,7	19,6	21,4	24,3	28,1	30,5	30,8	28,2	24,1	20,1	17,5	23,3
Temperatura media mínima (°C)	7,4	8,2	9,8	11,1	14,2	18,0	20,5	21,1	18,8	15,0	11,3	8,9	13,7
Precipitación total (mm)	69,0	60,0	52,0	44,0	20,0	6,0	0,0	6,0	20,0	57,0	100,0	100,0	534,0
Humedad relativa (%)	69,0	68,0	67,0	63,0	59,0	58,0	58,0	61,0	65,0	70,0	71,0	72,0	65,0
Días de precipitación >= 1mm	5,8	4,8	4,0	4,5	3,1	0,8	0,1	0,5	2,1	4,4	5,6	6,6	42,3
Días de nieve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Días de tormenta	1,3	1,2	0,9	1,4	1,1	0,7	0,2	0,7	1,5	1,5	1,3	1,5	13,4
Días de niebla	0,7	1,0	1,3	0,4	0,7	0,6	0,8	0,9	0,7	1,4	0,9	0,8	10,4
Días de helada	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Días despejados	7,9	6,3	5,9	5,7	7,3	14,0	20,6	17,1	9,3	6,0	5,6	5,6	109,1
Horas de sol	180,0	180,0	222,0	244,0	292,0	329,0	347,0	316,0	255,0	215,0	172,0	160,0	2905,0

Ilustración 14. Datos meteorológicos 1981-2010 Aeropuerto de Málaga, AEMET. Fuente.: [www.aemet.es](http://www.aemet.es)

Dado que nos encontramos en la provincia de Málaga, es importante añadir en ArcMap el sistema de coordenadas correcto correspondiente a nuestra ubicación, este es el sistema EPSG:25830 o ETRS89/UMT zone 30N. Esto fue definido así en el Real Decreto 1071/2007, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España. (“BOE-A-2007-15822 Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se ...”)

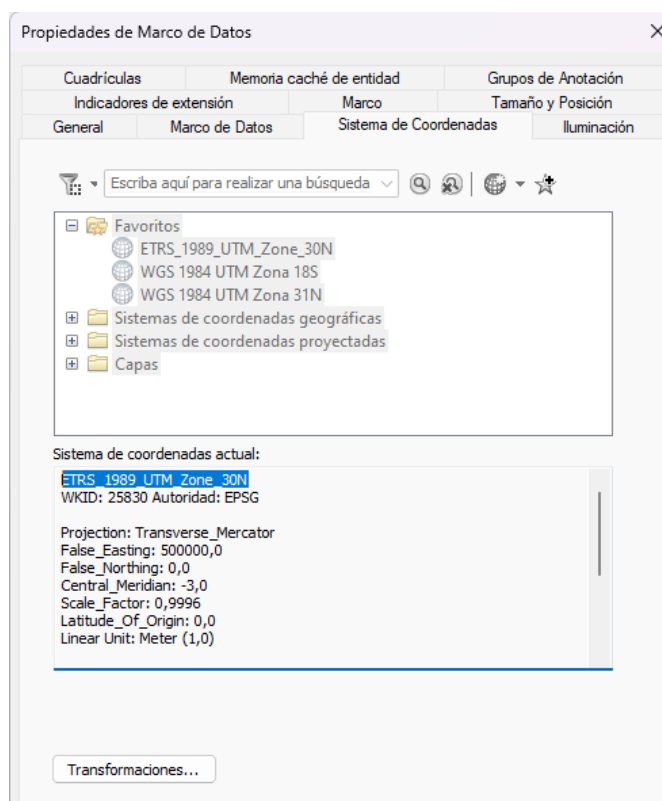


Ilustración 15. Sistema de coordenadas de Málaga

## 7. Fuentes de información

La calidad y el número de factores que se tengan en cuenta para la obtención de los datos es un aspecto fundamental en la realización de cualquier proyecto, ya que afecta directamente a la toma de decisiones y los resultados finales del mismo.

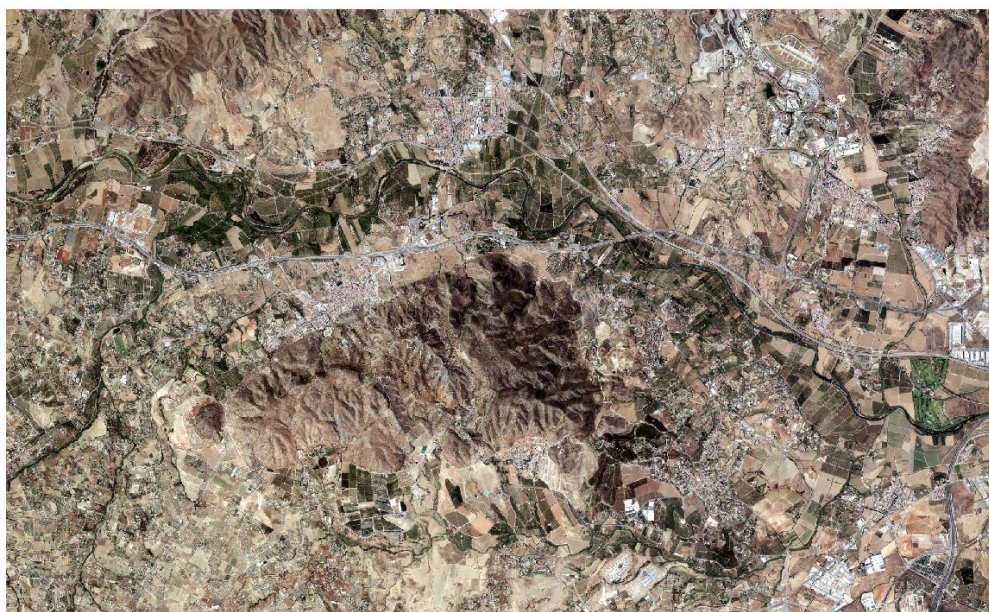
Por ello, los datos que han sido requeridos para la realización de este proyecto se han tomado de fuentes contrastadas, verificadas y actualizadas de información. Aun así, se ha hecho un análisis de los datos y los resultados que se iban obteniendo para comprobar que no carecieran de sentido.

### 7.1 Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (Información Geográfica Instituto Geográfico Nacional, 2023) es el espacio en el que están recogidas las ortofotografías de todo el territorio español con un periodo fijo de actualización de 3 años, desde el año 2004. Es el resultado de la colaboración entre las distintas Comunidades Autónomas y la Administración General del Estado. La tecnología LiDAR se incorpora a este proyecto en el año 2009.

#### 7.1.1 PNOA Imagen

En la página web del PNOA se pueden obtener diferentes tipos de ortofotos, como por ejemplo históricas, de costas, quinquenal, etc. La ortofoto necesaria y que obtenemos para este proyecto es la correspondiente a la categoría de 'Ortofoto PNOA MÁXIMA ACTUALIDAD'. Son mosaicos de las ortofotos más recientes disponibles en el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, cada mosaico cubre una hoja del MTN (Mapa Topográfico Nacional 1:50.000), en formato ECW.



*Ilustración 16. Ortofoto zona de estudio, escala 1:50.000*



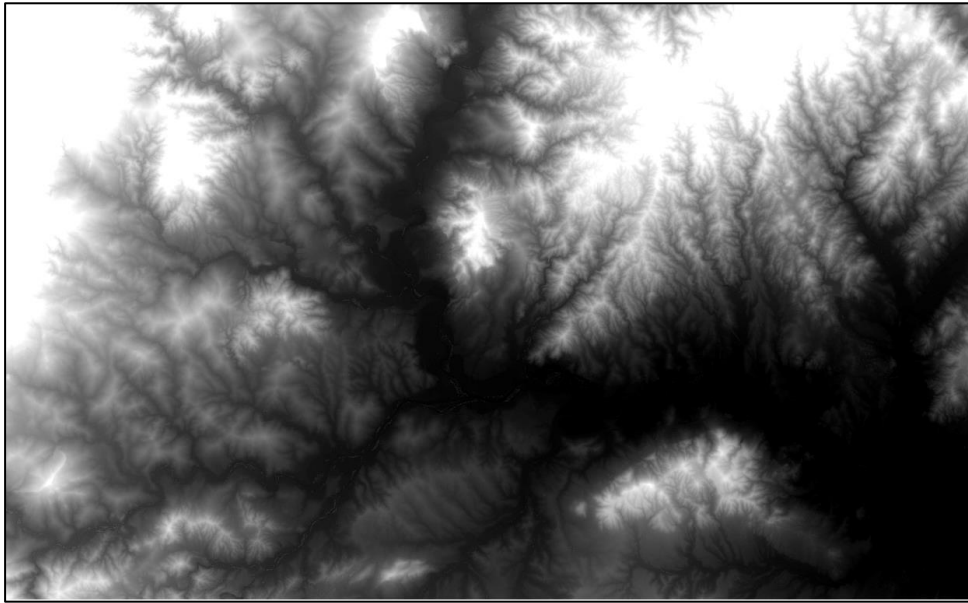
*Ilustración 17. Ampliación ortofoto zona de estudio, escala 1:2.500*

### **7.1.2 PNOA LiDAR**

La tecnología LiDAR consiste en una serie de sensores aerotransportados cuya función es obtener una nube de puntos con coordenadas X, Y, Z y diferentes atributos como clasificación o color. La recolección de los datos de todo el territorio español se lleva a cabo en un periodo de unos 6 años, iniciándose de nuevo cuando acaba el periodo anterior. La primera cobertura se realizó entre los años 2009 y 2015, la segunda, la más reciente, comenzó en el año 2015 y culminó en el año 2021. La densidad de puntos en la segunda cobertura es de 0.5-4 puntos por metro cuadrado, existiendo excepciones en las que la densidad es aún mayor.

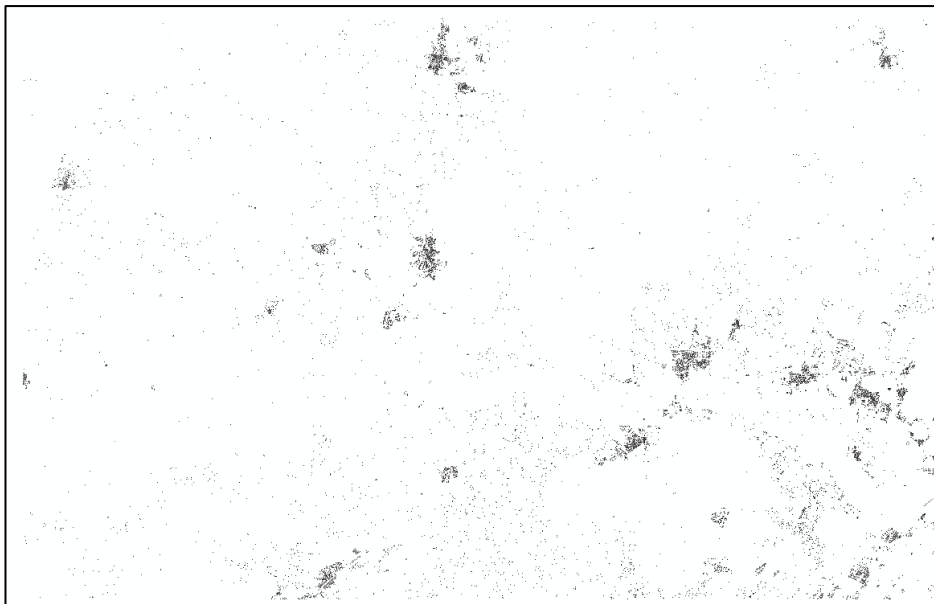
Gracias a la tecnología LiDAR se obtuvieron también de la primera cobertura diferentes modelos digitales de superficie, para este proyecto son utilizados dos:

- MDS05, Modelo Digital de Superficies: modelo obtenido en la primera cobertura con paso de malla de cinco metros. La unidad de descarga son las hojas del MTN50 y el formato es ASCII matriz ESRI (.asc).



*Ilustración 18. Modelo digital de superficies, escala 1:50.000. Ref.:*

- MDSn2.5, Modelo Digital de Superficies de Edificación: modelo normalizado de la clase edificación correspondiente a la primera cobertura con paso de malla de 2.5 metros. La unidad de descarga son las hojas del MTN50 y el formato es ASCII matriz ESRI (.asc).



*Ilustración 19. Modelo digital de superficies de edificación, escala 1:50.000. Ref.:*

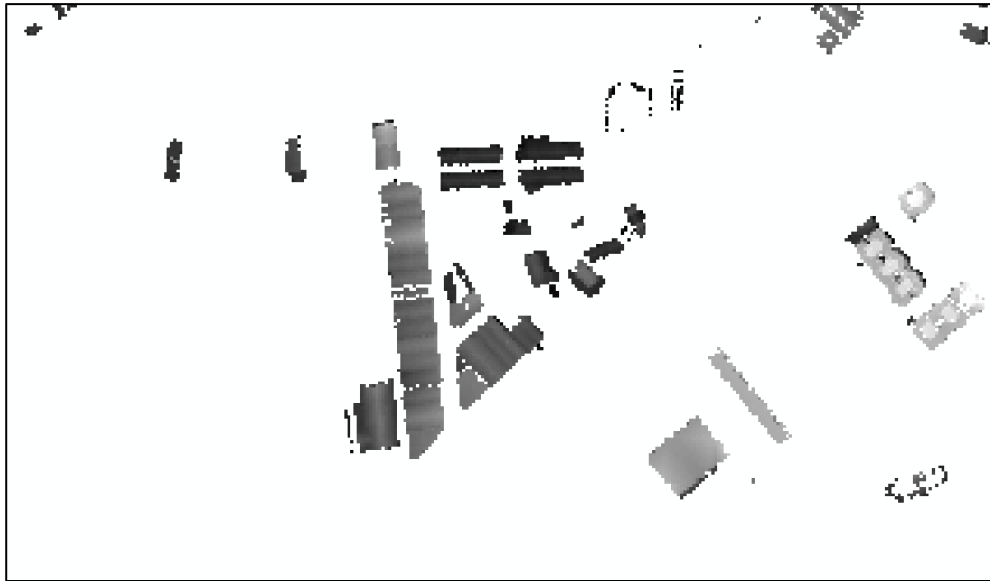


Ilustración 20. Ampliación modelo digital superficies de edificación, escala 1:2.500.

## 7.2 Catastro

Desde la Sede Electrónica del Catastro (*Sede Electrónica del Catastro - Inicio*, 2023), en el apartado ‘Difusión de Datos Catastrales’ se puede descargar información cartográfica y alfanumérica, así tanto como datos estadísticos. Podemos obtener la cartografía vectorial de cada provincia en formato “Shapefile”.

Se puede obtener información municipal tanto del catastro urbano como rústico. Se proporcionan datos acerca de las parcelas, subparcelas, delimitación de edificios, límites, agrupaciones, calles y vías de comunicación.

Ilustración 21. Datos Sede Electrónica del Catastro. Fuente.: <https://www.sedecatastro.gob.es/>

### 7.3 PVGIS

PVGIS (*JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, 2016*) es una herramienta online desarrollada por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea para estimar el rendimiento de la energía solar fotovoltaica y térmica en diferentes ubicaciones del mundo.

PVGIS se basa en datos meteorológicos y climáticos, y en modelos matemáticos que tienen en cuenta factores como la inclinación y orientación de los paneles solares, la sombra, la temperatura y la humedad. Proporciona información detallada sobre la radiación solar disponible y la producción de energía fotovoltaica para un sistema fotovoltaico determinado en una ubicación concreta.

Usando esta herramienta se obtienen datos de irradiación global horizontal, irradiación directa normal, irradiación global con el ángulo óptimo, ratio difusa a global medio mensual y temperatura media mensual del año 2020 (último mes disponible en las bases de datos de la página web) y podemos ver así como varía este parámetro y, por tanto, como variará la generación de energía en la instalación fotovoltaica del proyecto a lo largo de un año.

The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, there is a navigation bar with the European Commission logo and the text "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM". Below this, a breadcrumb trail reads "European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Herramientas interactivas". The main interface is divided into several sections:

- Map:** A satellite-style map showing a location in Ispra, Italy. A blue location pin is placed on the map. The map includes a scale bar (100 m) and a compass. Below the map, there are input fields for "Dirección:" (with "Eg. Ispra, Italy" and "Irl" as examples) and "Lat/Lon:" (with "Eg. 45.815" and "Eg. 8.611" and "Irl" as examples).
- Cursor Information:** Displays "Seleccionado: 36.720, -4.620", "Elevación (m): 40", and "PVGIS ver. 5.2".
- Utilizar las sombras del terreno:** Includes a checked option for "Horizonte calculado", a "Cargar archivo de horizonte" button, and a "Seleccionar archivo" dropdown menu.
- CONECTADO A RED:** A section with options for "FV CON SEGUIMIENTO", "FV AUTÓNOMO", "DATOS MENSUALES", "DATOS DIARIOS", "DATOS HORARIOS", and "TMY".
- DATOS MENSUALES DE IRRADIACIÓN:** A configuration panel for monthly solar radiation data. It includes a "Base de datos de radiación solar" dropdown menu (set to "PVGIS-SARAH2"), "Año inicial:" and "Año final:" dropdown menus (both set to "2020"), and checkboxes for "Irradiación:" options: "Irradiación global horizontal", "Irradiación directa normal", "Irradiación global con el ángulo óptimo", and "Irradiación global con el ángulo:" (with a range of "0-90" and a note "Este campo es obligatorio").
- Ratio and Temperature:** Includes checkboxes for "Ratio:" (checked for "Ratio difusa/global") and "Temperatura:" (checked for "Temperatura media").
- Buttons:** "Visualizar resultados", "csv", and "json" buttons are located at the bottom of the configuration panel.

At the bottom of the page, it says "Última actualización: 01/03/2022 Top".

Ilustración 22. Herramienta página web PVGIS. Fuente.: [www.re.jrc.ec.europa.eu](http://www.re.jrc.ec.europa.eu)

## 7.4 Posición del sol

Para los cálculos necesarios en el proyecto acerca de la radiación solar en la zona de estudio es necesario conocer los datos sobre la posición del Sol en el periodo que se analiza.

La obtención de estos datos se realiza a través de un servicio web denominado SoDa o Solar Energy Services for Professionals , gracias a una herramienta llamada Solar Geometry 2 (SG2) (*Solar Geometry 2 - SoDa*, 2023), segunda generación de la biblioteca para el cálculo de la posición relativa del Sol y la Tierra realizada por 'MINES Paris Tech'. Proporciona datos sobre la declinación, ángulo según hora, elevación y acimut del sol. Esta herramienta es válida para el periodo 1980-2030, cuenta con un algoritmo con una precisión del orden de  $0.005^\circ$ .

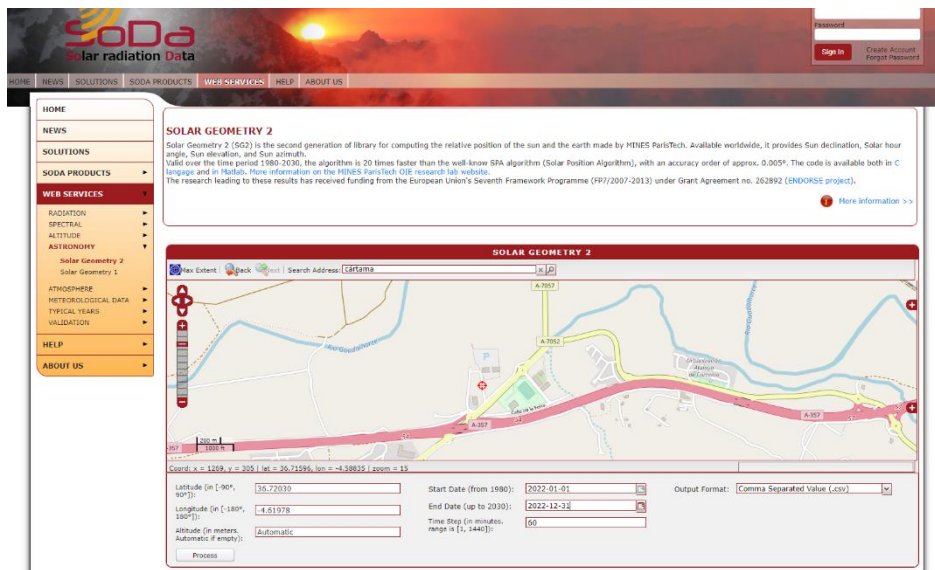


Ilustración 23. Interfaz página web SoDa, herramienta Solar Geometry 2. [www.soda-pro.com](http://www.soda-pro.com)

Obtenemos entonces datos relativos a la posición del Sol en el periodo deseado con un intervalo de tiempo de una hora en este caso, y para todos los días del año 2022.

Se obtiene un archivo “.csv”, se hace un tratamiento de los datos con el programa ‘Microsoft Excel’ para seleccionar los datos del día 21 de cada mes de 2022, entre las 10 y las 16 horas. (Anexo I. Archivo Excel datos de posición del sol obtenidos de ‘SG2’)

## 8. Preparación de los datos

### 8.1 Zona de estudio

La zona elegida para la realización del estudio es el polígono industrial “El Cerro” de Cártama es un polígono de no muy grandes dimensiones, tiene una superficie de 50.000  $m^2$ , y está conformado por unas 20 naves industriales. Es importante definir el área de estudio para más tarde tomar únicamente esta zona delimitada en los conjuntos de datos que se obtengan de las diferentes fuentes de información.



*Ilustración 24. Límites de la zona de estudio*

### 8.2 Datos de partida requeridos para el proyecto

Se ha necesitado los siguientes conjuntos de datos para la realización del proyecto:

- Ortofotografía aérea
- Modelo digital de superficies
- Modelo digital de superficies de edificación
- Mapas de parcelas, construcción, elementos, límites y masa del catastro
- Posición del sol

### 8.3 Edición de los datos

Los datos obtenidos de las diferentes fuentes de información corresponden a zonas muy amplia de terreno, puesto que únicamente es de interés la zona del Polígono Industrial “El Cerro”, se editan todas estas capas de datos para seleccionar sólo la zona de estudio.

- a) Se cargan en el programa ArcMap de ArcGIS, todas las capas de información que se han recolectado anteriormente. Estas capas son las correspondientes al PNOA y al catastro.

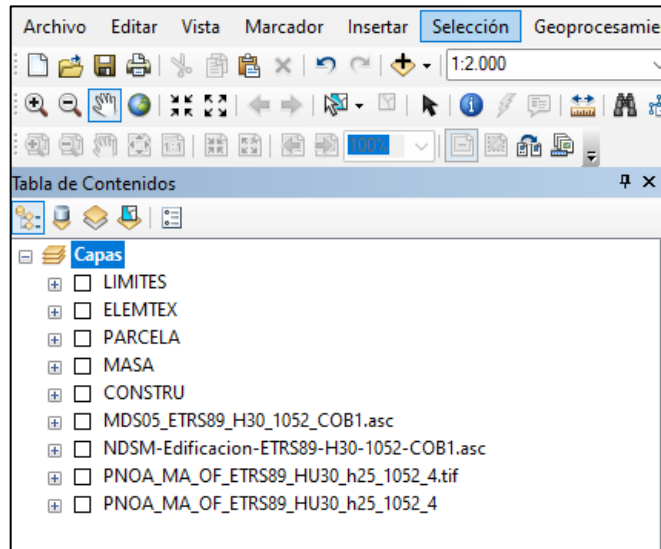


Ilustración 25. Inserción de datos en ArcMap

- b) Se dibuja en ArcMap los límites del polígono industrial en otra capa diferente tipo 'polígono'.

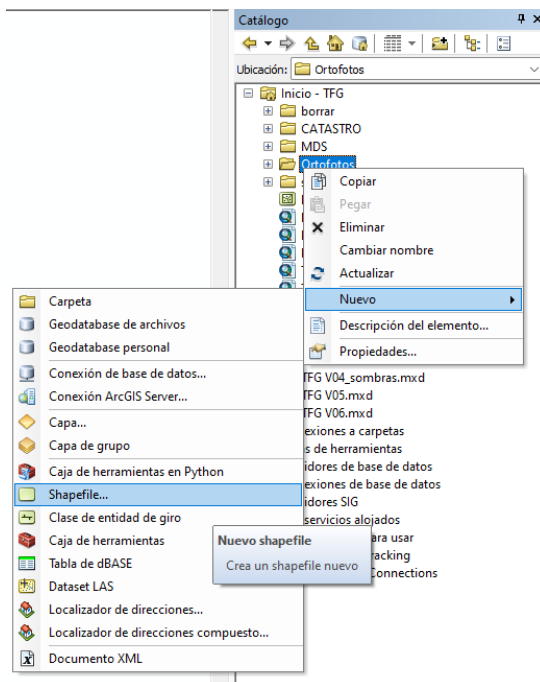


Ilustración 27. Crear nuevo 'shapefile'

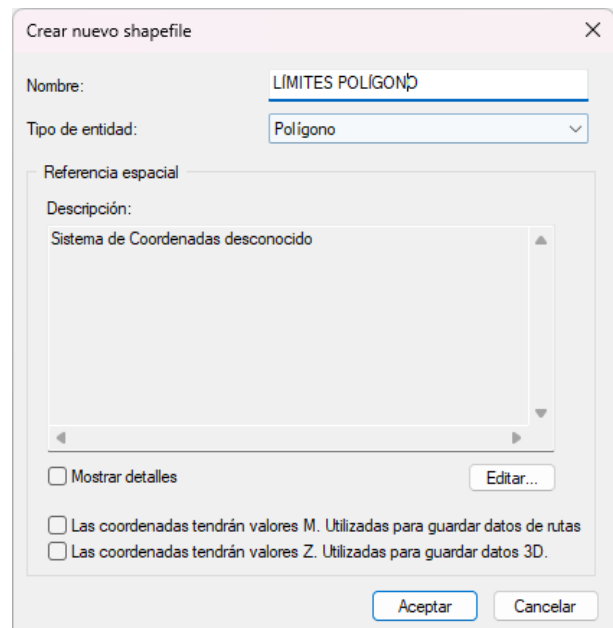


Ilustración 26. Crear capa tipo 'polígono'

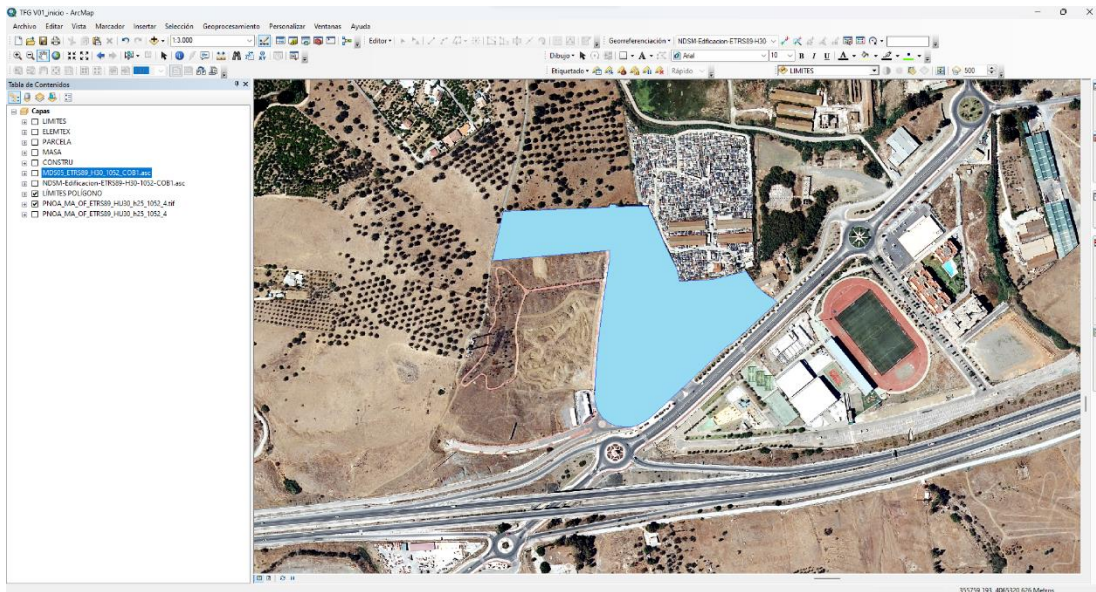


Ilustración 28. Definición límites zona de estudio en ArcMap

- c) Cuando ya se ha obtenido la zona delimitada mediante la capa polígono, ésta se utiliza para hacer un recorte al resto de las capas y así eliminar los datos que no son necesarios para el proyecto. Se utiliza la herramienta 'Recortar'

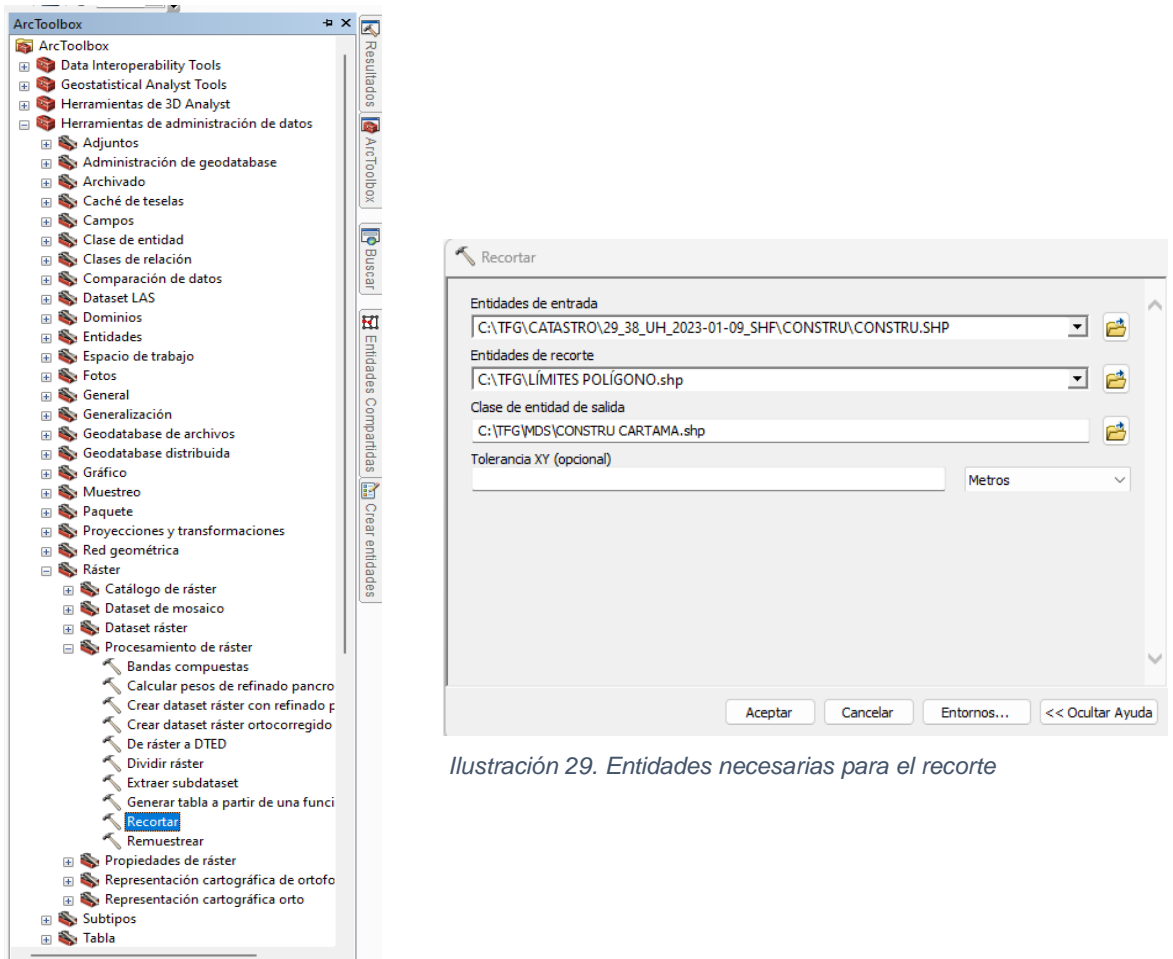


Ilustración 29. Entidades necesarias para el recorte

Ilustración 30. Herramienta 'Recortar'

Con la capa 'límites polígono' se va a recortar la capa 'constru'.

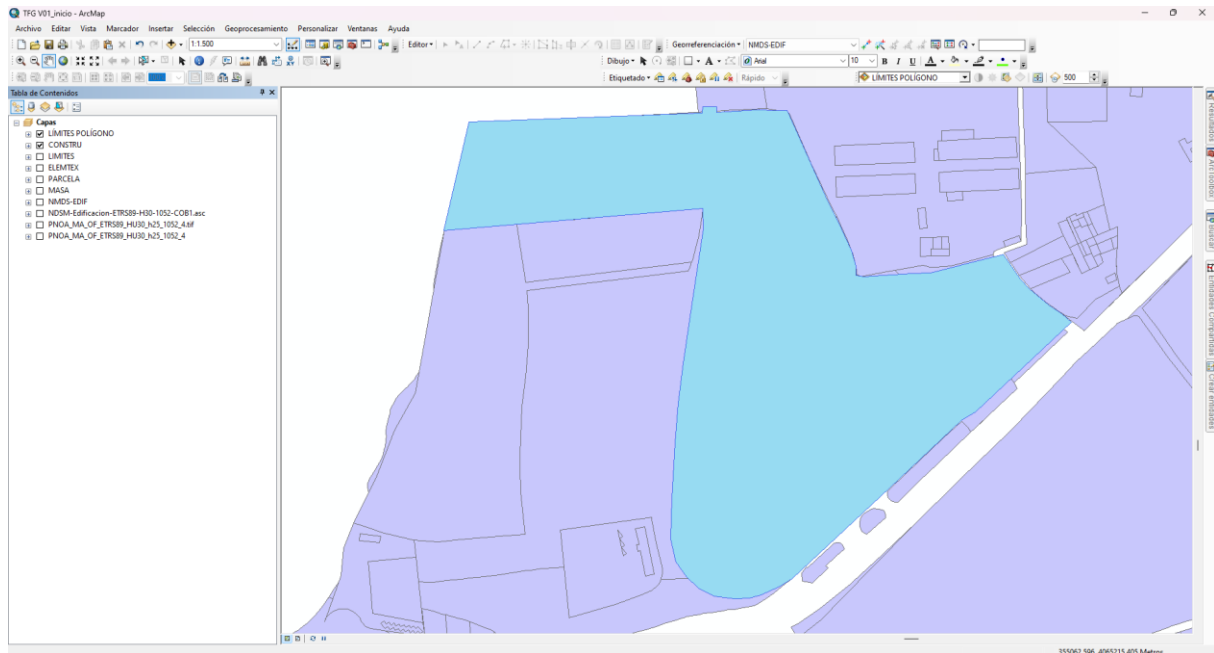


Ilustración 31. Entidades de entrada ('constru') y de recorte ('límites polígono')

El resultado obtenido de la operación de recorte es el siguiente:

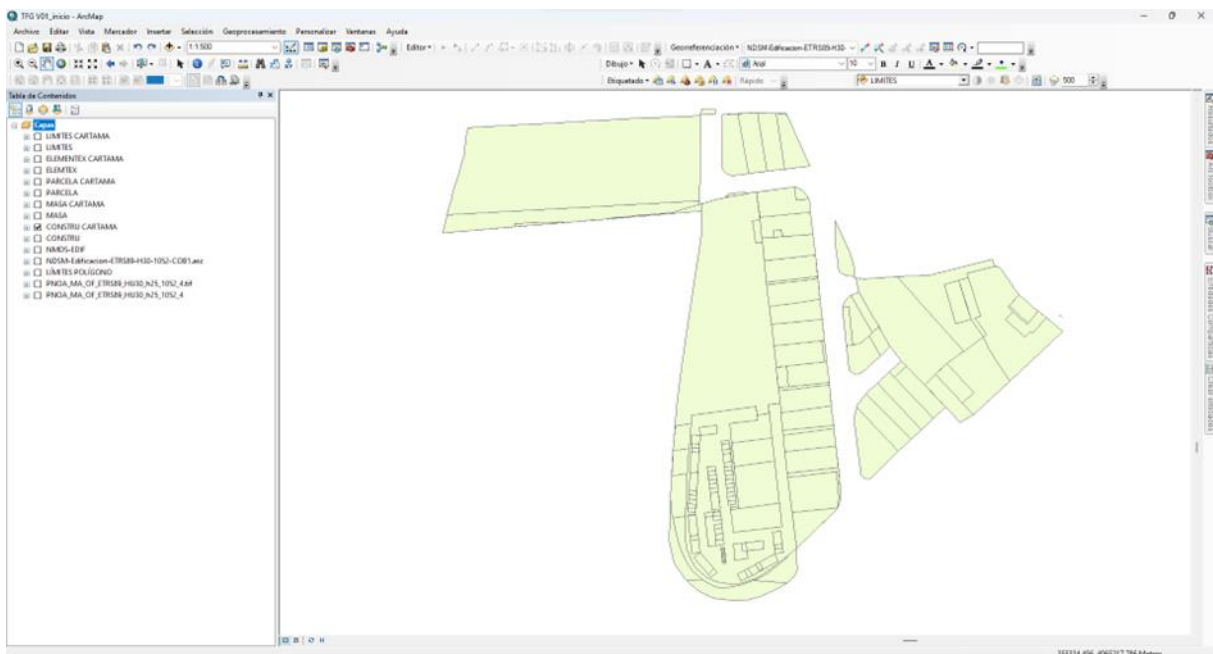


Ilustración 32. Entidad de salida ('constru cartama'), capa 'constru' recortada

d) La operación de recorte descrita anteriormente se repite para cada capa necesaria de datos, una vez que ya se han obtenido los datos correspondientes a modelo digital de superficies, modelo digital de superficies de edificación y las capas catastrales de 'constru', 'elementex', 'límites', 'parcela' y 'masa' se puede comenzar con el tratamiento de los datos para la realización del proyecto.

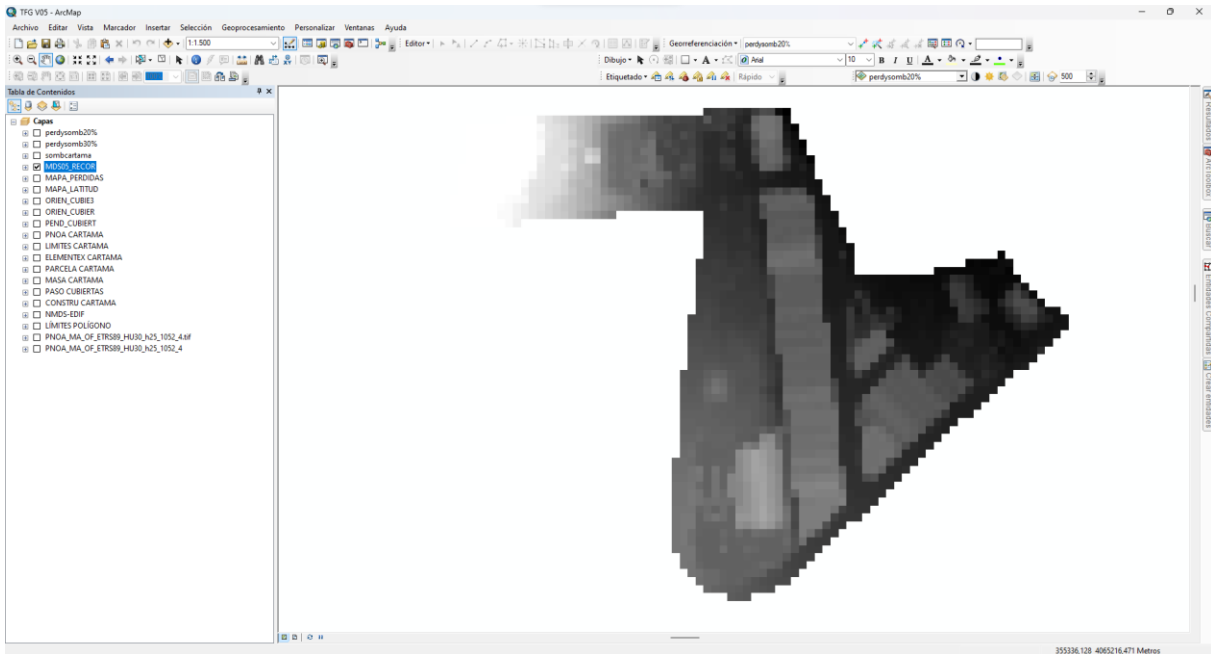


Ilustración 33. Recorte capa 'Modelo Digital de Superficie', escala 1:1.500

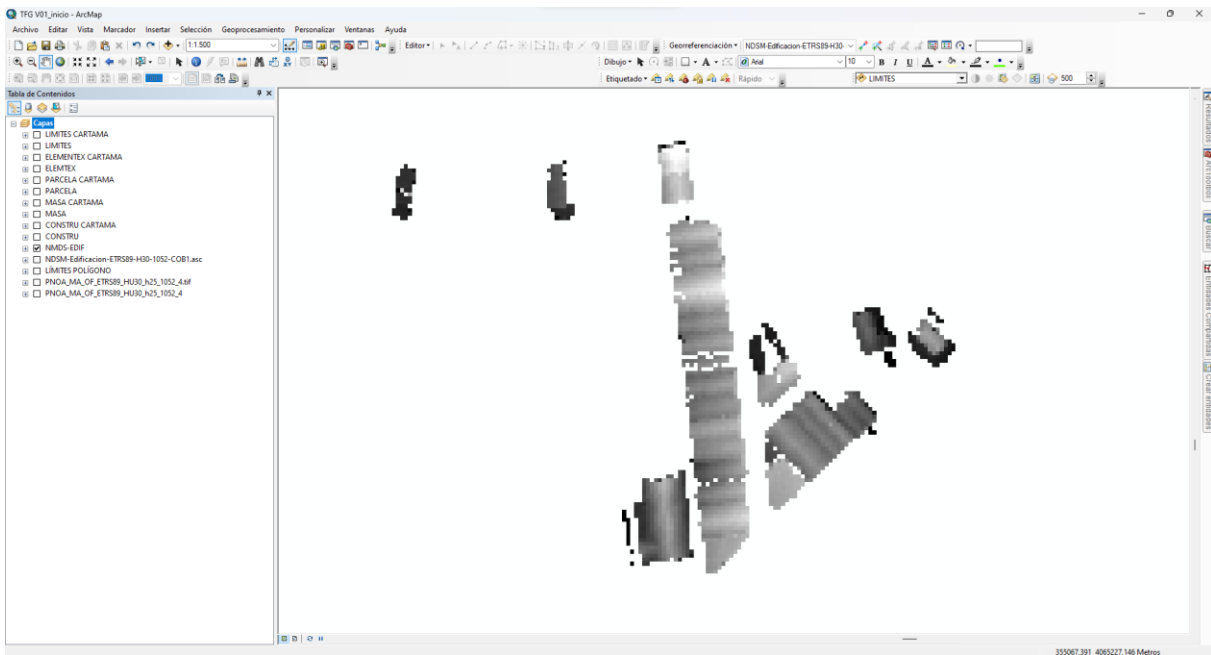


Ilustración 34. Recorte capa 'Modelo Digital de Superficies de Edificación', escala 1:1.500

La capa 'Constru' proporciona información sobre las construcciones presentes en un área determinada, e incluye información sobre ubicación, número de plantas, uso del suelo, etc.

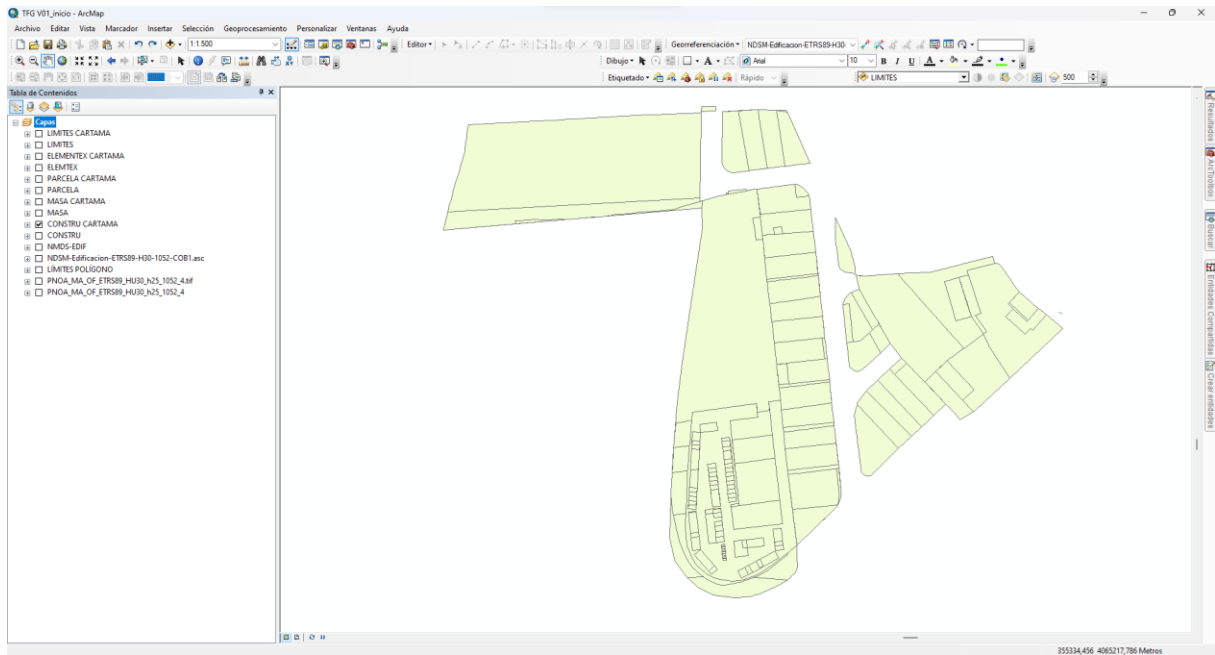


Ilustración 35. Recorte capa 'Constru', escala 1:1.500

La capa 'Masa' aporta información acerca de las parcelas que tienen características similares, como el uso del suelo, la planificación urbana, la propiedad, etc.

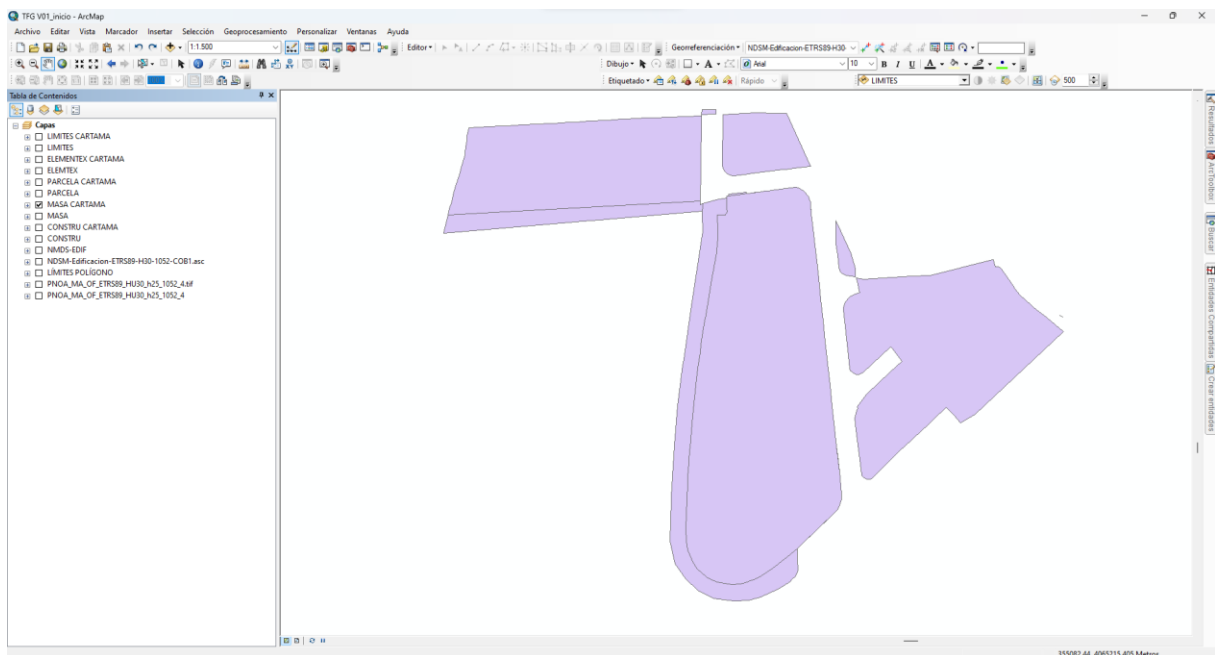


Ilustración 36. Recorte capa 'Masa', escala 1:1.500

La capa 'Parcela' contiene información sobre las parcelas o terrenos individuales y con datos como la forma, el tamaño o la titularidad.

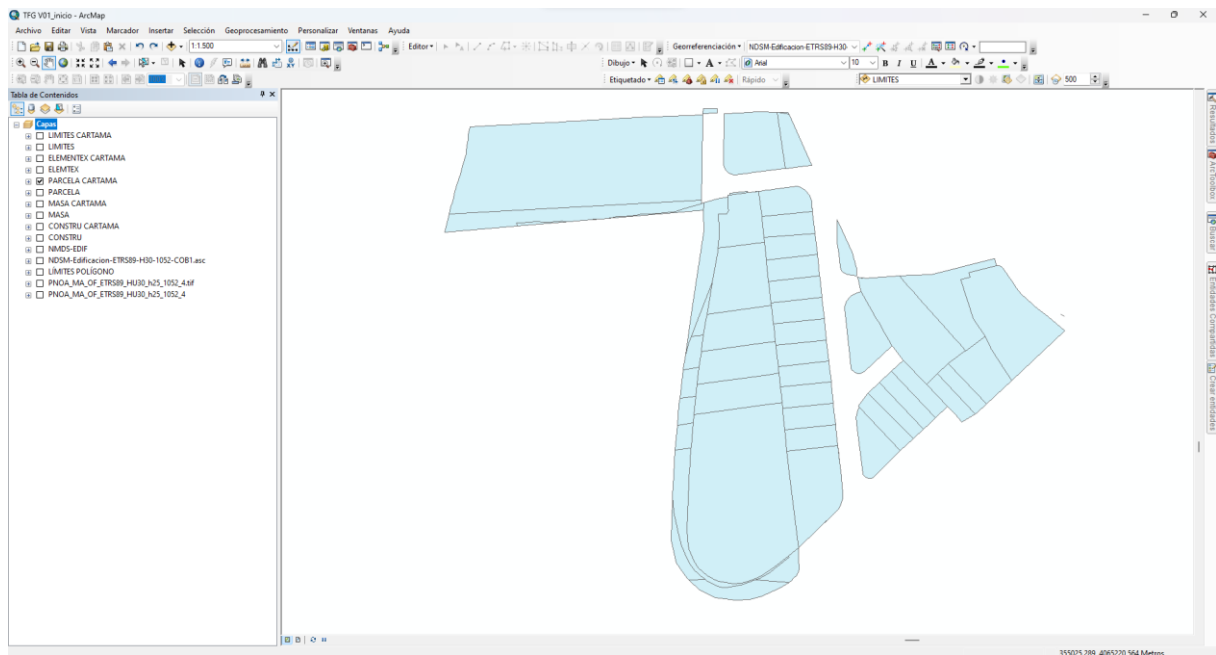


Ilustración 37. Recorte capa 'Parcela', escala 1:1.500

La capa 'Elementex' aporta datos sobre los componentes de una edificación como muros, ventanas o puertas.

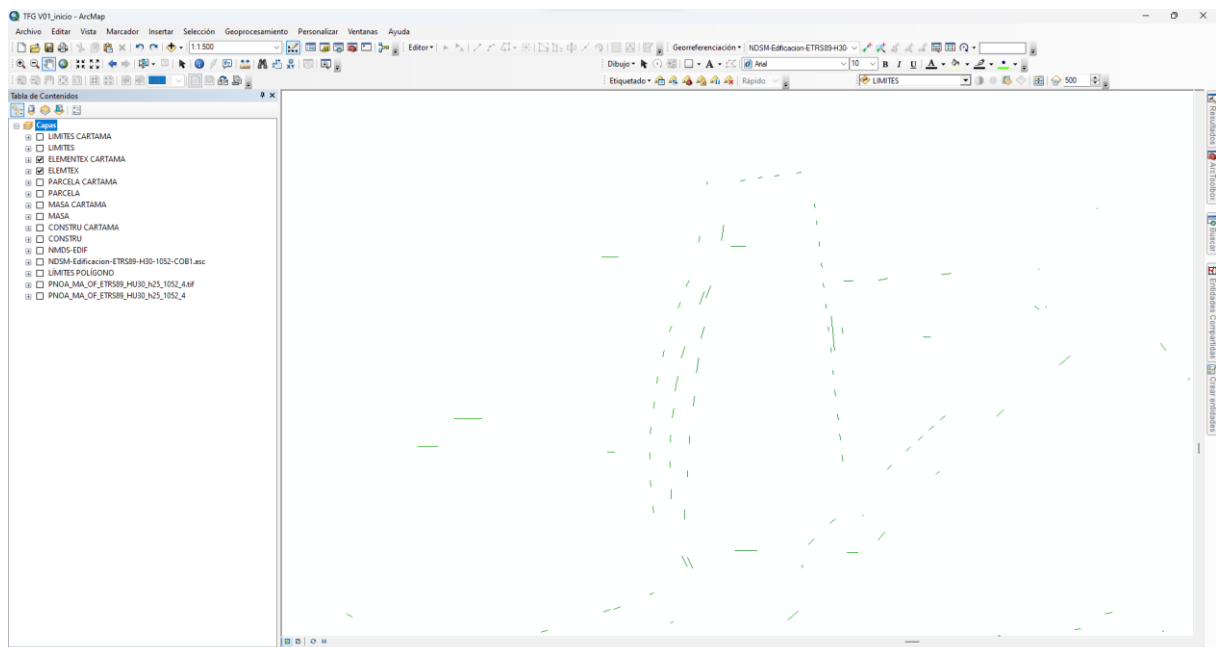


Ilustración 38. Recorte capa 'Elementex', escala 1:1.500

Con la capa 'Límites' se definen los límites de una parcela o zona determinada.

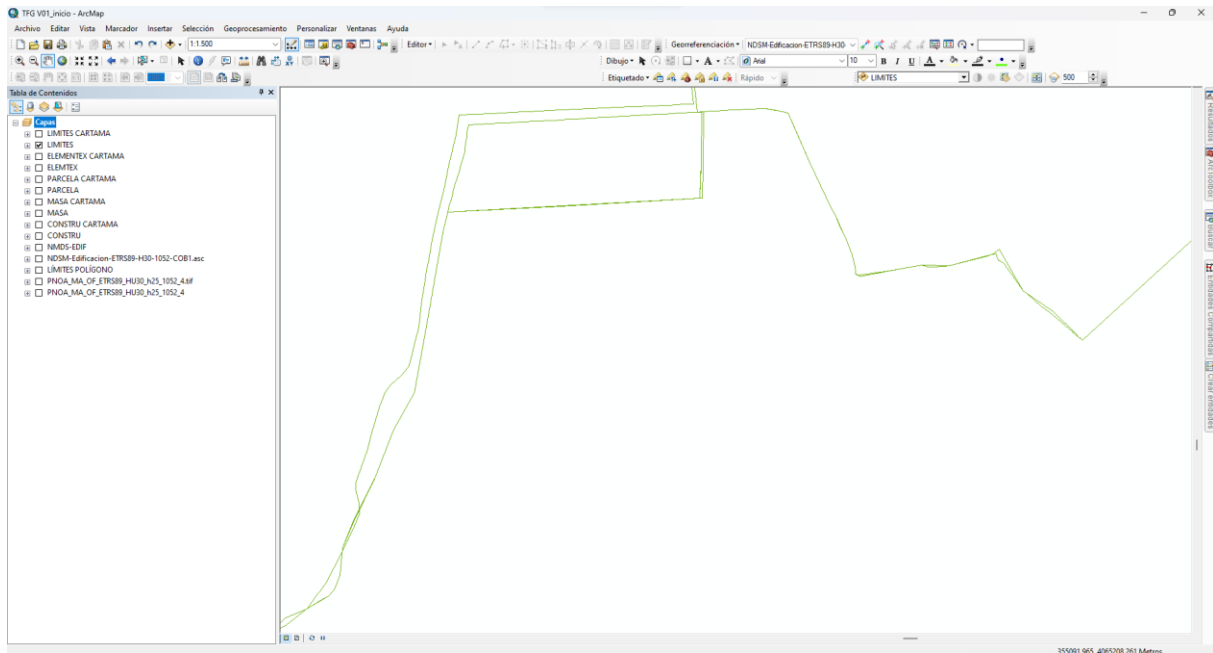


Ilustración 39. Recorte capa 'Límites', escala 1:1.500

## 9. Tratamiento de los datos

Obtenidos los datos recortados de aquello que es necesario para la realización del proyecto, se puede comenzar con el tratamiento de los mismo. Los pasos seguidos son los siguientes:

### 9.1 Mapa de zonas de paso

Se crea un mapa de las zonas de paso, es decir, se deja un perímetro libre de un metro en el entorno de las cubiertas, ya que esta zona no puede ser utilizable para la instalación de placas fotovoltaicas. Se utiliza la herramienta 'Zona de influencia', la cual crea polígonos de zona de influencia alrededor de entidades de entrada a una distancia especificada. (*Recursos de ArcMap para ArcGIS Desktop | Documentación, tutoriales y otros, s. f.*)

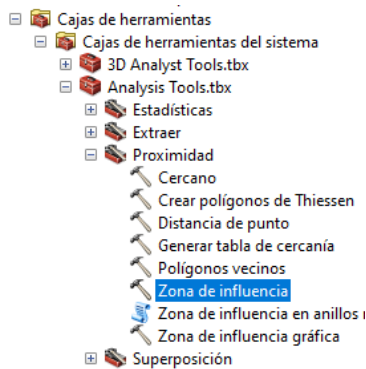


Ilustración 41. Herramienta 'Zona de influencia'

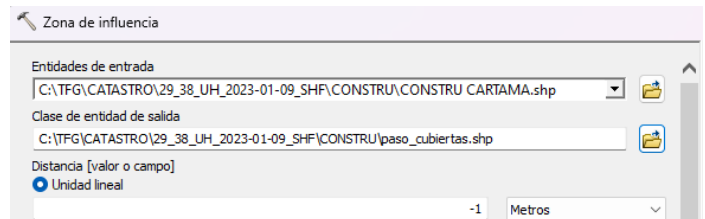


Ilustración 40. Entidades 'Zona de influencia'

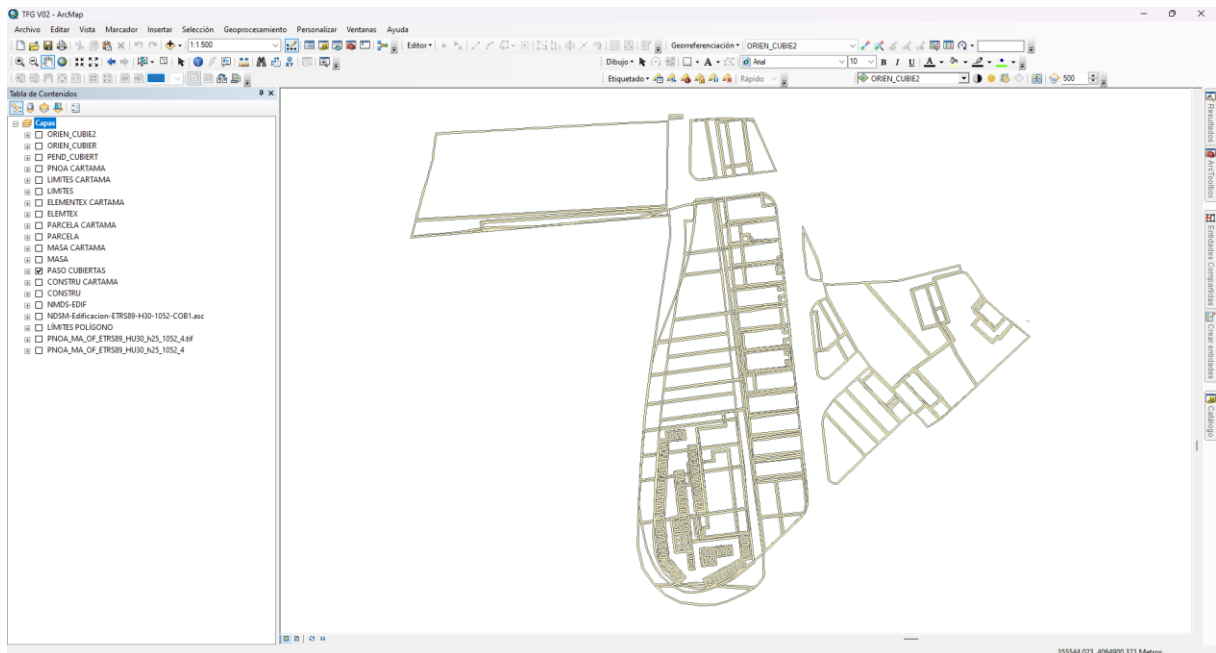


Ilustración 42. Resultado mapa de zonas de paso. Escala 1:1.500

## 9.2 Mapa de pendientes

Se crea un mapa de pendiente de las cubiertas, información importante para tener en cuenta cuando se analiza el potencial solar de una cubierta. Se obtiene a partir del modelo digital de superficies de edificación, con una herramienta denominada 'Pendiente', la cual identifica la pendiente, en grados, de cada celda de un ráster:

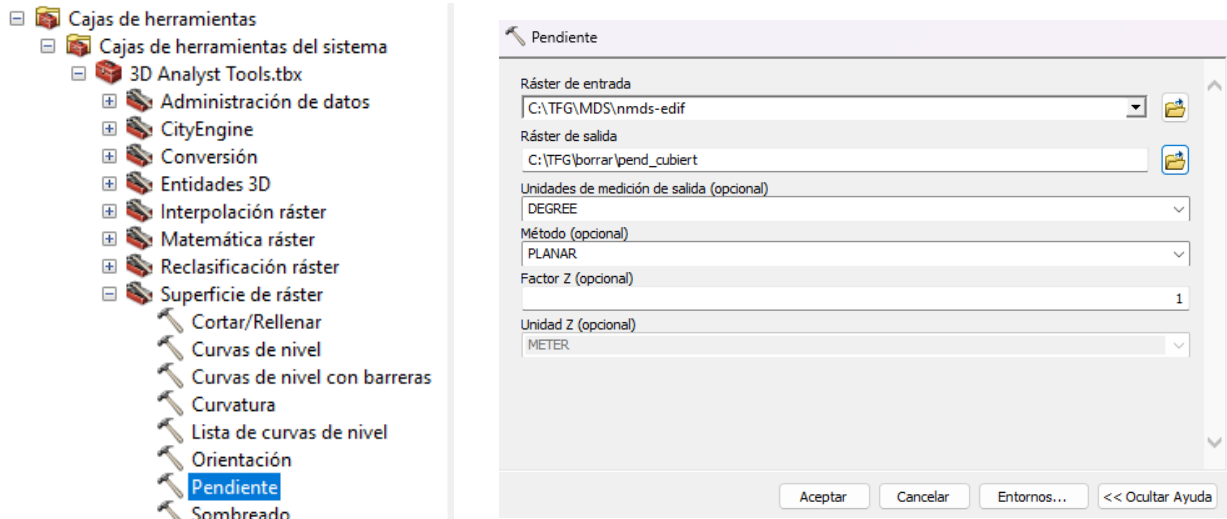


Ilustración 43. Entidades herramienta 'Pendiente'

Ilustración 44. Herramienta 'Pendiente'

El resultado obtenido puede verse en la imagen inferior, donde además se parecía que los valores de pendiente son similares en la zona de estudio:

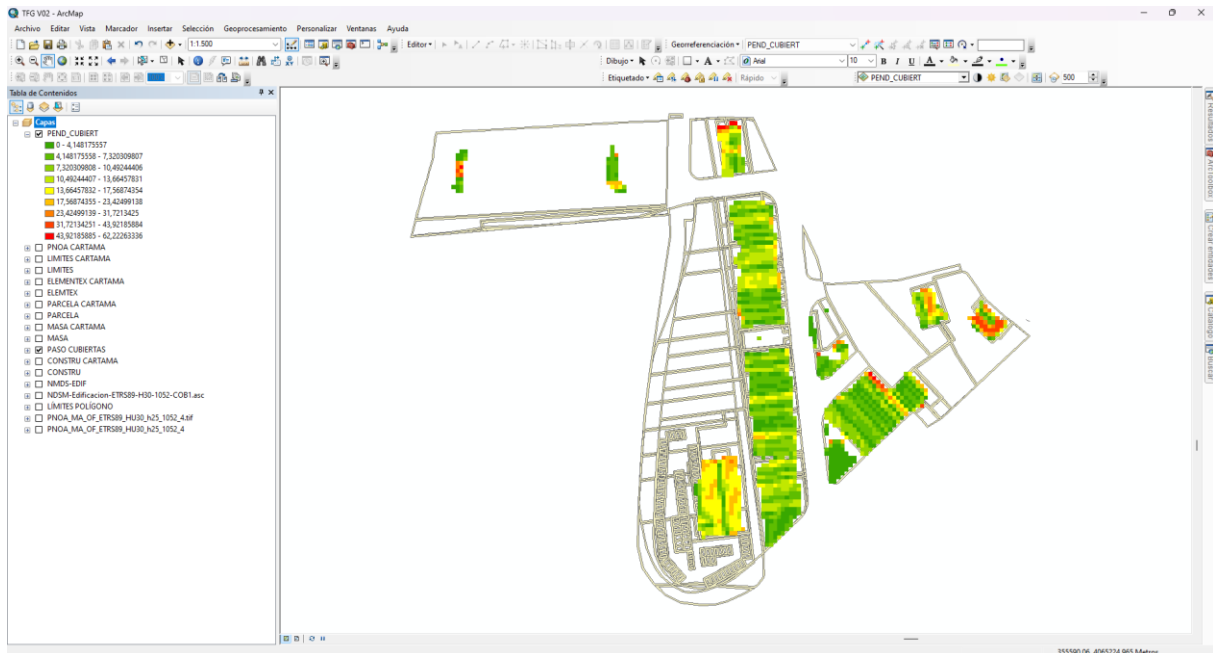


Ilustración 45. Resultado mapa de pendientes. Escala 1:1.500

Un ráster es un tipo de representación de datos que utiliza celdas en los que cada una contiene valores en una matriz de fila y columnas. En la imagen inferior se observa la consulta del valor de un píxel en el mapa de pendientes, que corresponde a su inclinación sobre el plano horizontal medido en grados.

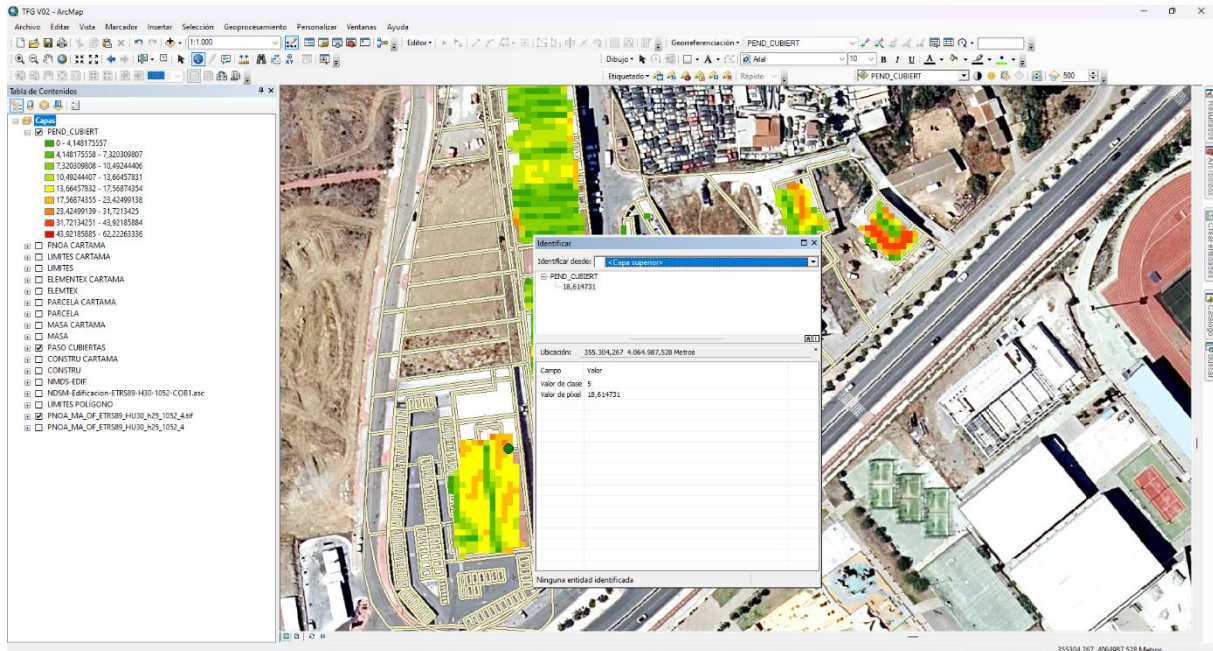


Ilustración 46. Valor exacto de un píxel seleccionado con la herramienta 'Identificar'.

### 9.3 Mapa de orientaciones

Al igual que la pendiente, la orientación es un factor destacado para el análisis del potencial solar. Se utiliza para ello la herramienta 'Orientación', a partir también del modelo digital de superficies de la edificación. Esta herramienta “calcula la orientación de cada celda a partir de una superficie ráster. La orientación identifica la dirección de la brújula a la que apunta la pendiente descendente en cada ubicación.” (Recursos de ArcMap para ArcGIS Desktop | Documentación, tutoriales y otros, s. f.)

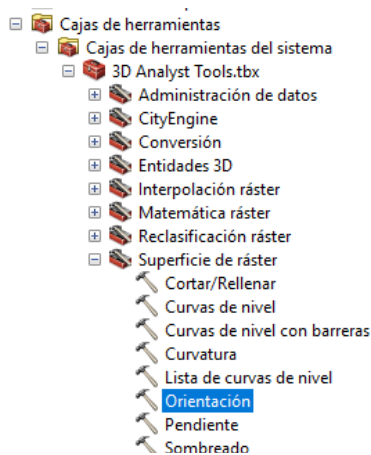


Ilustración 47. Herramienta 'Orientación'

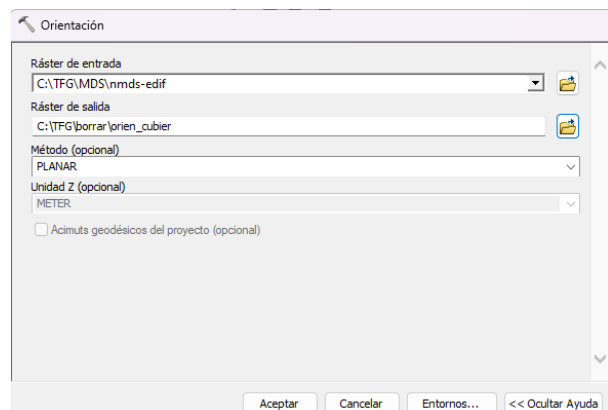


Ilustración 48. Entidades herramienta 'Orientación'

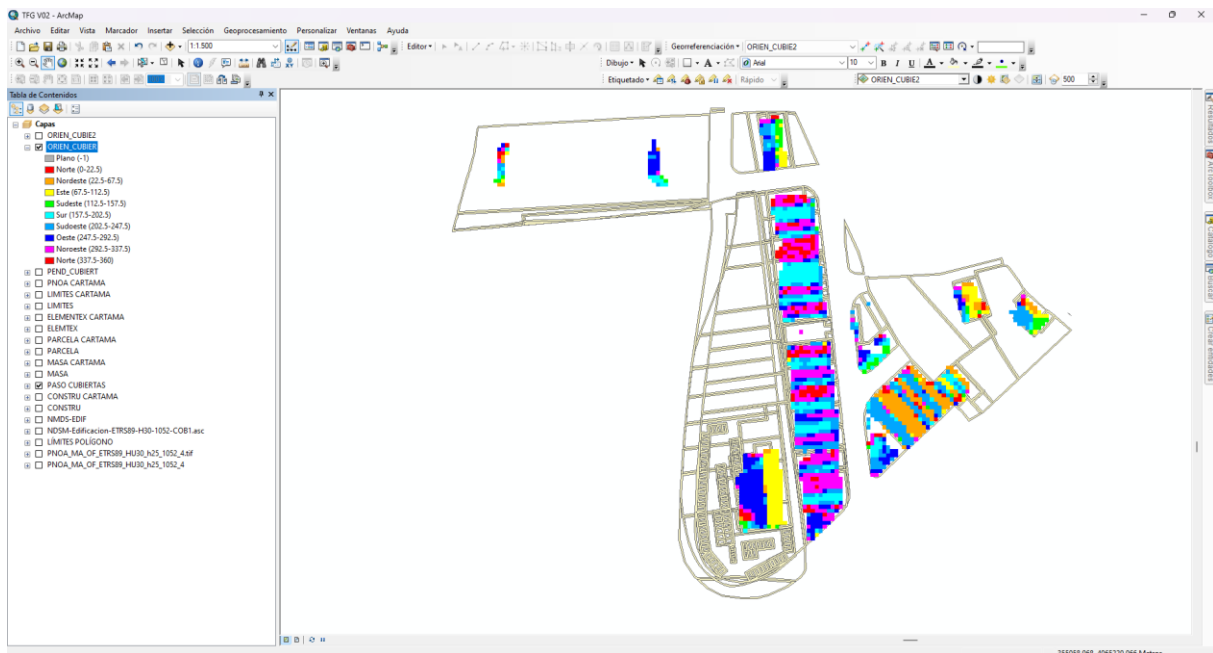


Ilustración 49. Resultado mapa de orientaciones. Escala 1:1.500

El resultado obtenido está dividido en grupos desde  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$ , por lo que es necesario hacer una reclasificación, ya que en el Código Técnico de la Edificación se exige que la orientación esté clasificada de  $-180^{\circ}$  a  $+180^{\circ}$ .

Para llevar a cabo esta reclasificación se hace uso de la herramienta 'Calculadora Ráster', esta herramienta construye y ejecuta una expresión simple de álgebra de mapas utilizando la sintaxis de Python en una interfaz similar a la de una calculadora.

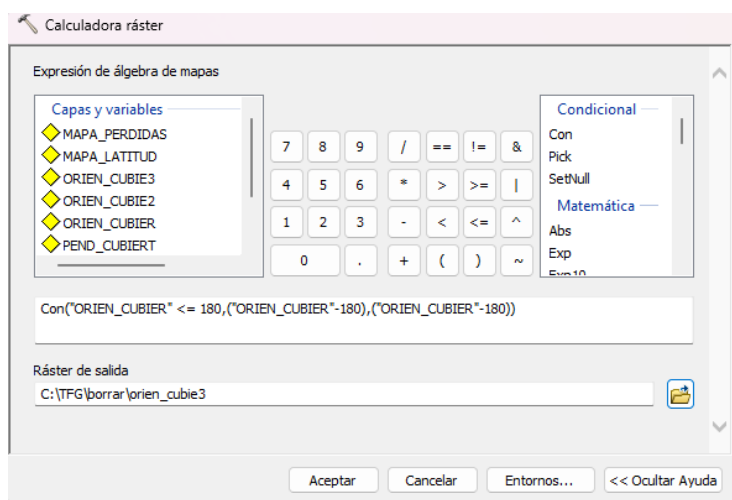
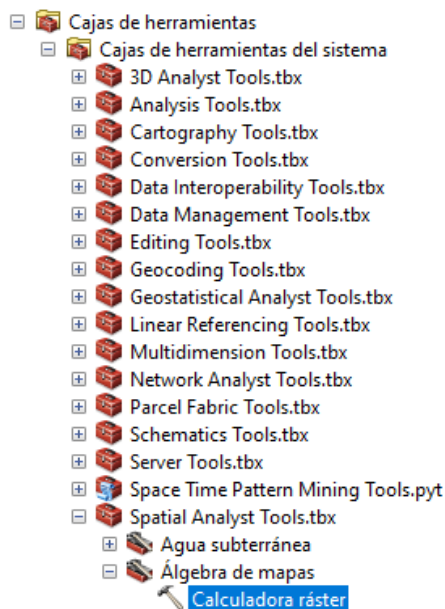


Ilustración 50. Interfaz 'Calculadora ráster'

Ilustración 51. Herramienta 'Calculadora ráster'

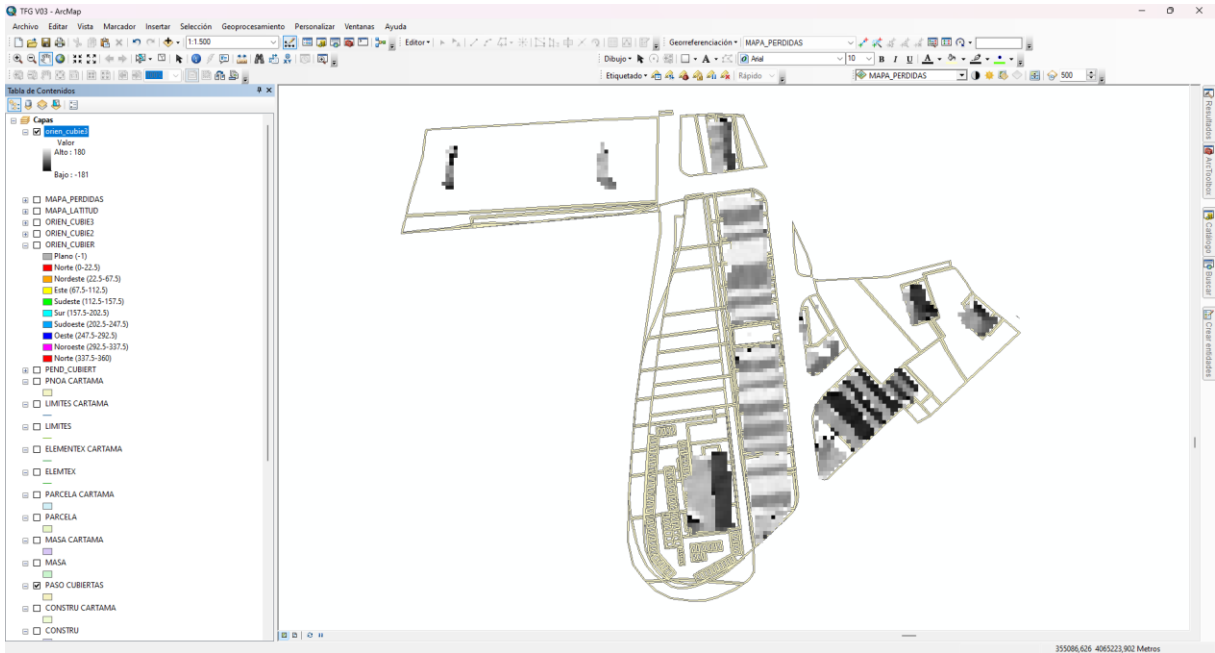


Ilustración 53. Mapa resultado de la reclasificación. Escala 1:1.500.

La clasificación realizada por el software o la simbología utilizada sin embargo no son las más indicadas, por lo que se edita para que los resultados estén ordenados según otros intervalos.

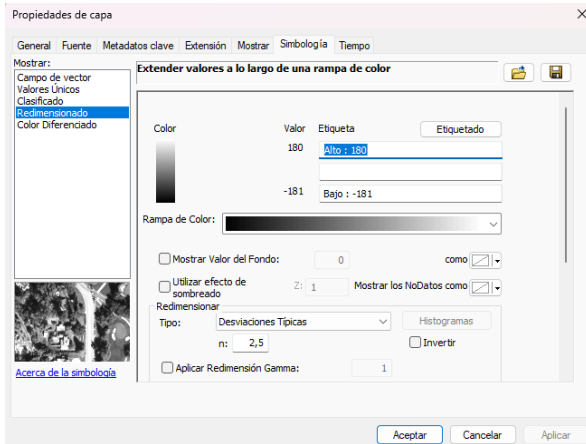


Ilustración 54. Simbología inicial

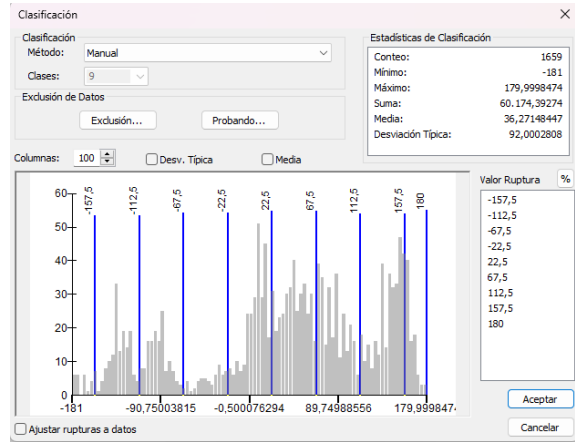


Ilustración 52. Intervalos de clasificación utilizados

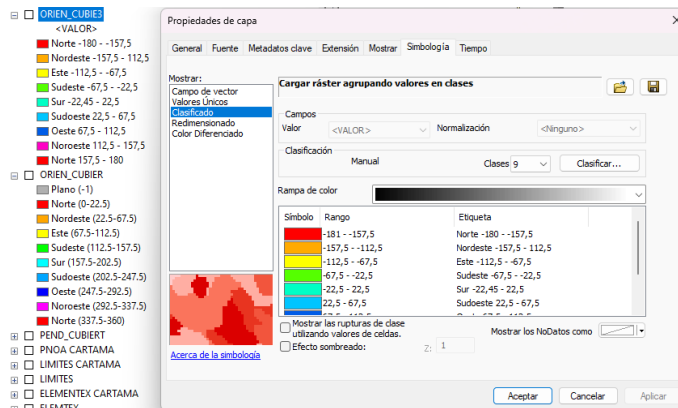


Ilustración 55. Clasificación anterior y final de la orientación según el CTE

## 9.4 Mapa de latitud

Se genera un mapa con la 'Calcula ráster' en la que todos los píxeles tienen el mismo valor, el valor de la latitud de Cártama.

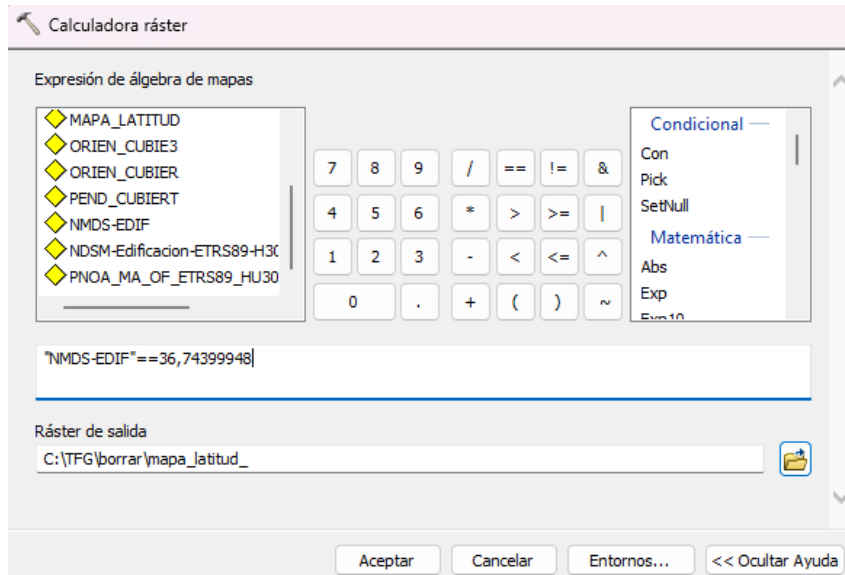


Ilustración 56. Herramienta 'Calculadora ráster'

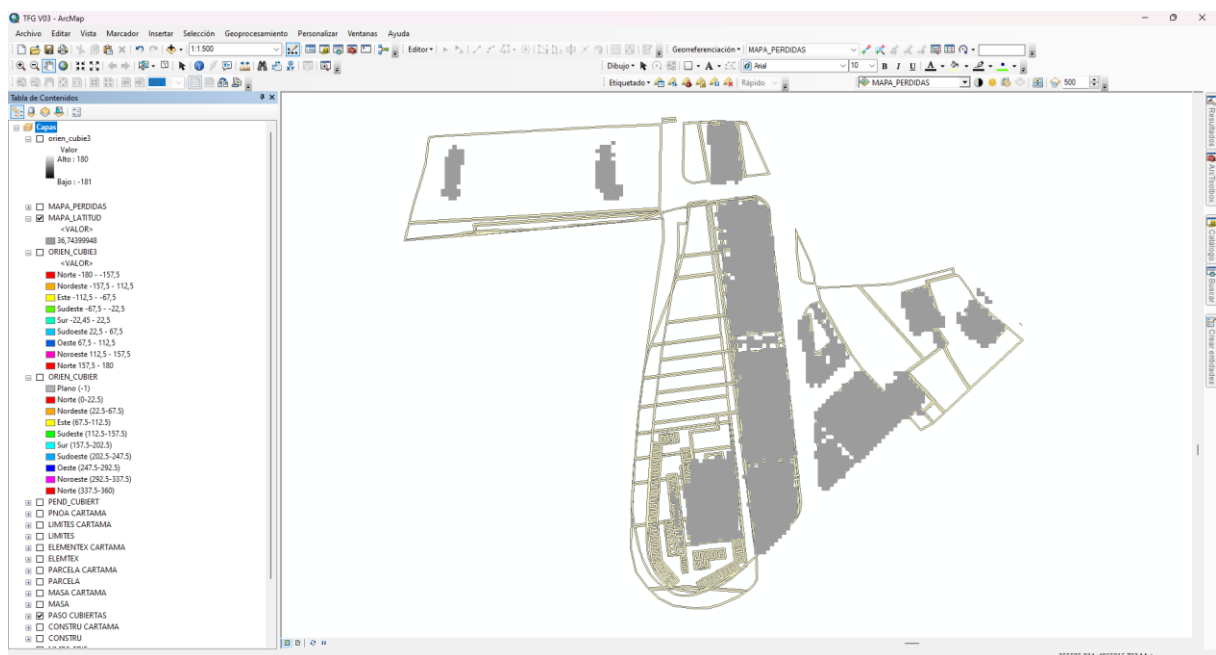


Ilustración 57. Resultado mapa de latitud. Escala a:1.500.

## 9.5 Mapa de pérdidas según el CTE

Con el mapa de orientaciones, pendientes y latitud y la 'calculadora ráster' se genera el mapa de pérdidas de energía límites debidas a la inclinación y orientación. Se utiliza la siguiente expresión en la herramienta según los criterios establecidos en el CTE en el Documento Básico HE5.

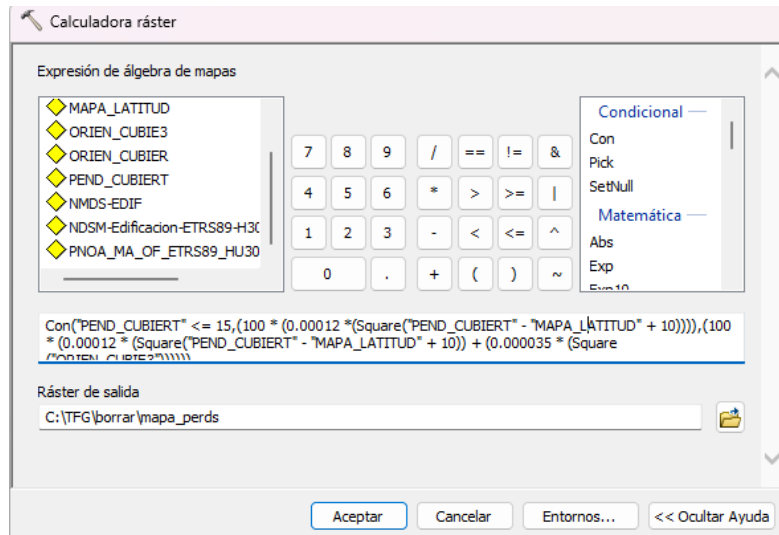


Ilustración 58. Herramienta 'Calculadora ráster'

El resultado obtenido al realizar la operación espacial sobre las diferentes capas ráster puede verse a continuación:

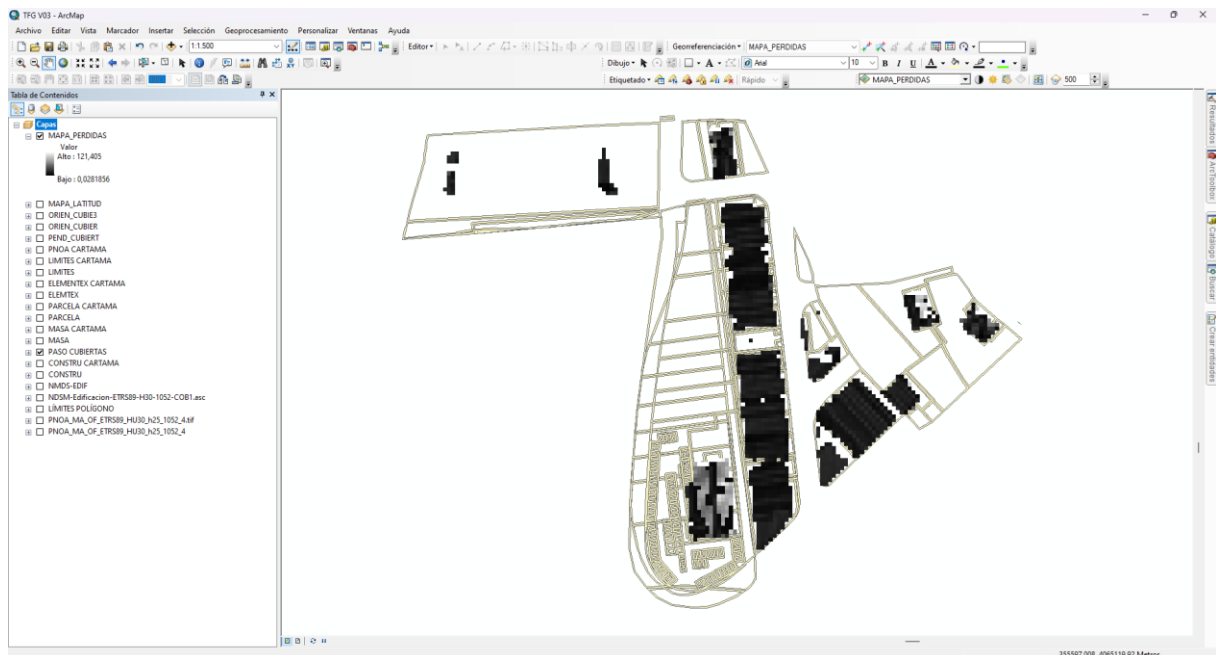


Ilustración 59. Resultado mapa de pérdidas. Escala 1:1.500

Se hace ahora una clasificación de los píxeles del resultado anterior, se marcan en verde y con un '1' aquellos píxeles cuyas pérdidas sean inferiores al 20%, el resto se marcan en rojo y con un '0'.

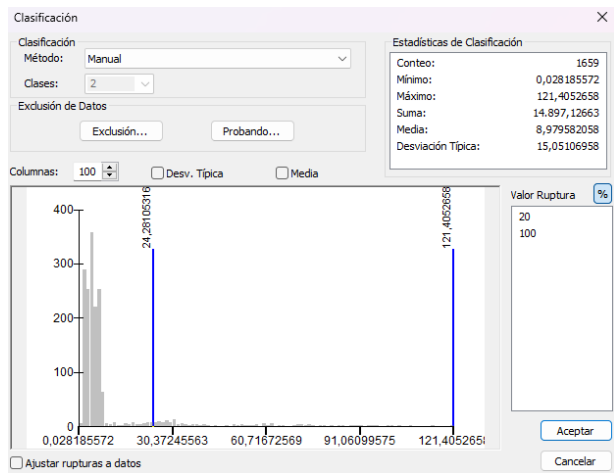


Ilustración 61. Clasificación con valor de ruptura 20%

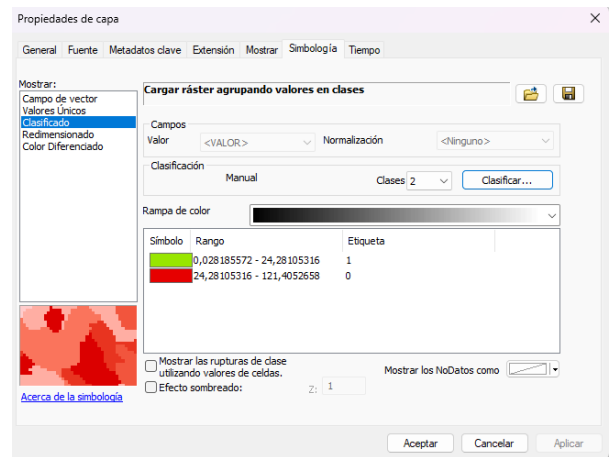


Ilustración 60. Validez o no de los píxeles según CTE

Y el resultado se observa en la imagen inferior, donde se observa claramente que apenas existen pérdidas (píxeles de color rojo), pues si bien una parte significativa de las cubiertas están orientadas al norte, debido a la escasa pendiente que presentan y la notable ausencia de sombras, las pérdidas por inclinación, orientación, sombreado y latitud resultan inferiores al 20% (píxeles de color verde).

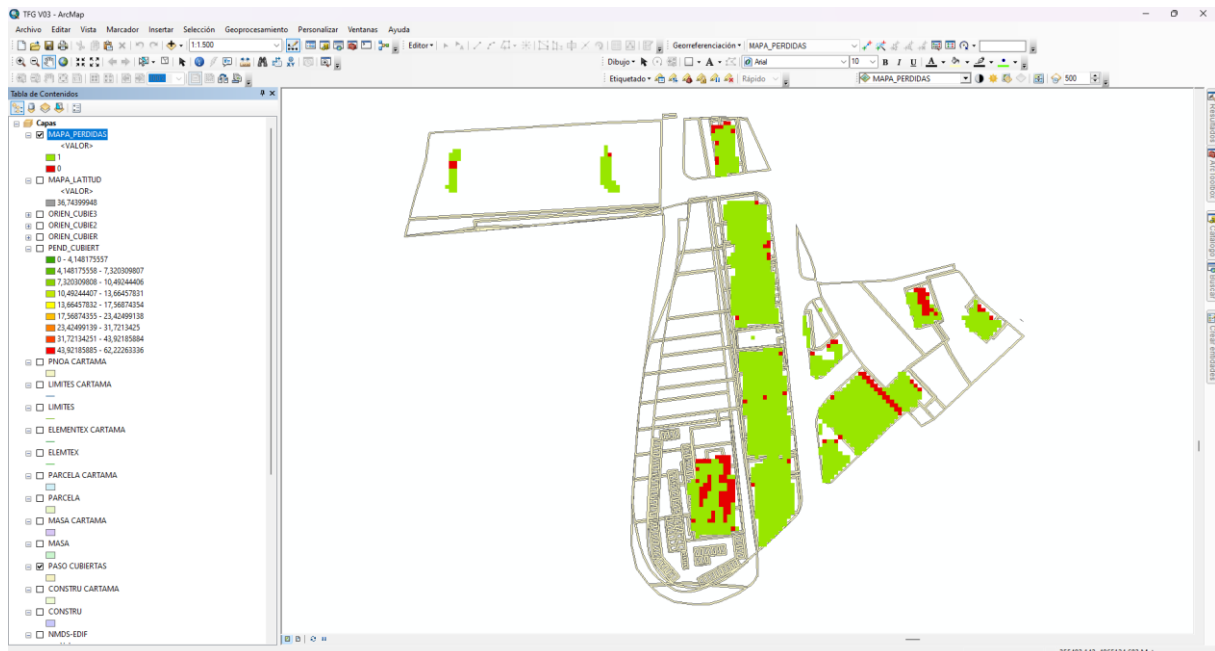


Ilustración 62. Mapa de pérdidas ajustado al CTE.

## 9.6 Mapa de sombras

El polígono industrial elegido para el estudio es de reducido tamaño, y las naves que lo forman no se generan gran cantidad de sombras las unas a las otras, por lo que para el sombreado se ha tenido también en cuenta las sombras que pueden ser causadas por la inclinación del terreno según la posición del sol.

Se utilizan para ello los datos obtenidos de la página web 'SoDa', datos de cada día 21 del año 2022 entre las 10 y las 16 horas.

### Mapa para cada hora de cada día

Se calcula para cada hora de cada día el mapa de sombras relativo a la posición del sol en ese día y en ese momento. Se utiliza para ello la herramienta 'Sombreado'.

Para tener un ráster de entrada con una superficie lo suficientemente amplia para ver las sombras que pueden causar las inclinaciones en el terreno en nuestra zona de estudio, se ha de volver a la página del PNOA, y ampliamos la superficie hasta una escala de 1:96.516 metros. Obteniéndose el siguiente mapa.

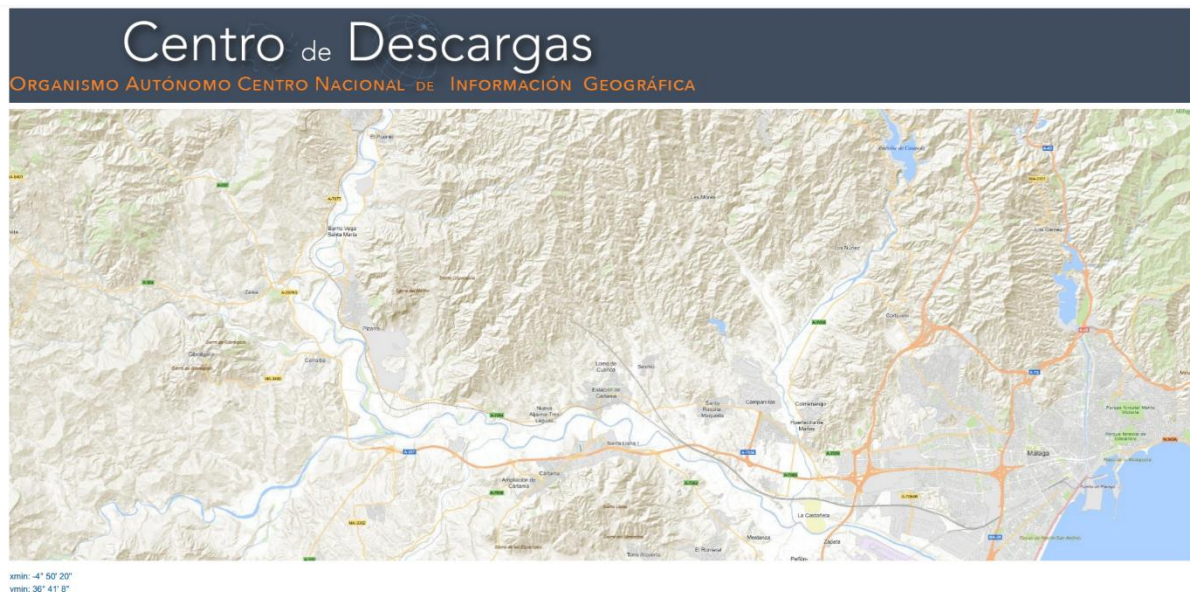


Ilustración 63. Mapa de superficie tomada para el estudio de sombra. Escala 1:96.516

De esta zona se obtiene el Modelo Digital de Superficie (MDS), dividido en dos ráster diferentes debido a su amplitud. En un archivo de ArcMap nuevo y diferente al archivo con el que se había trabajado anteriormente se añaden estos dos ráster.

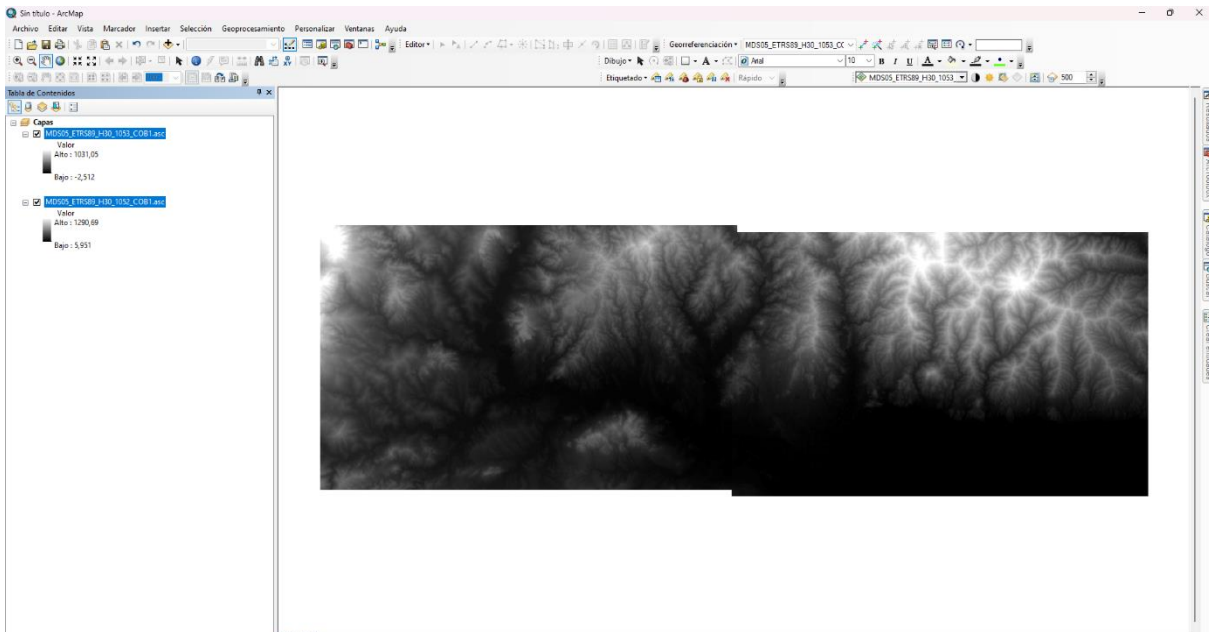


Ilustración 64. Rásters MDS zona de sombras

Para utilizar la herramienta 'Sombreado' se necesita un único ráster de entrada, por lo que antes de comenzar a usar esta herramienta se hace uso de 'De mosaico a nuevo ráster', herramienta que consiste en fusionar varios datasets ráster en un dataset ráster nuevo.

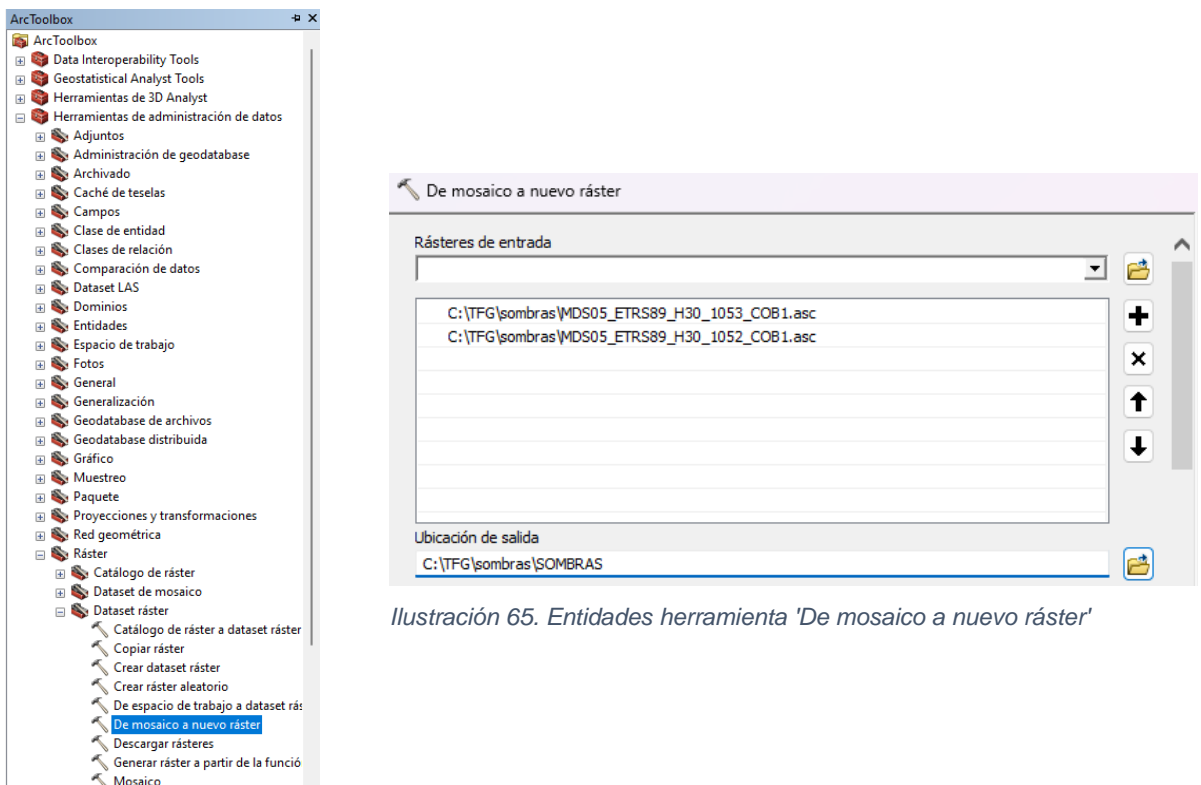


Ilustración 65. Entidades herramienta 'De mosaico a nuevo ráster'

Ilustración 66. Herramienta 'De mosaico a nuevo ráster'

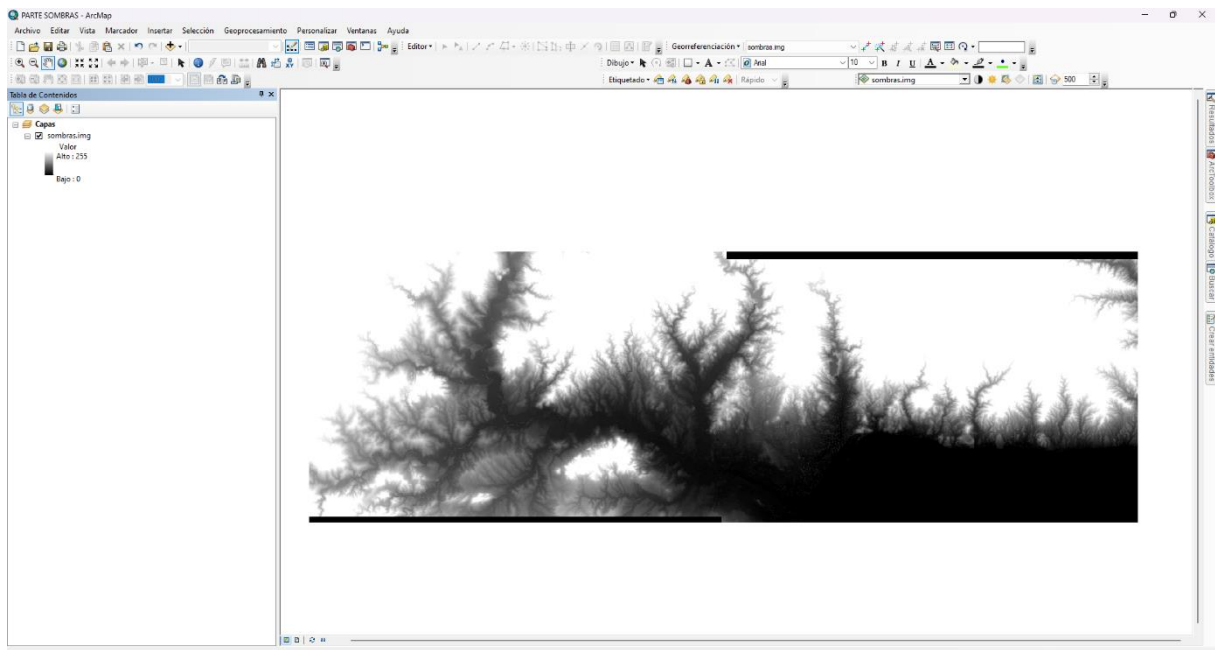


Ilustración 67. Resultado mapa MDS en un solo ráster

Una vez que ya se tiene un único ráster, se puede empezar a trabajar con la herramienta 'Sombreado'. “Esta herramienta crea un relieve sombreado a partir de un ráster de superficie teniendo en cuenta el ángulo de la fuente de iluminación y las sombras”. (*Recursos de ArcMap para ArcGIS Desktop | Documentación, tutoriales y otros*, s. f.). En este caso solo se considera los ángulos de iluminación local, no se van a considerar los efectos de las sombras. Se utilizan para ello los datos de acimut y elevación o altitud obtenidos de la página web ‘SoDa’.

Se genera un mapa para cada hora (entre las 10 y las 16 horas) del día 21 de cada mes del año 2022. El ráster de salida será denominado en este caso según la siguiente expresión: n<sup>o</sup>día\_n<sup>o</sup>mes\_hora

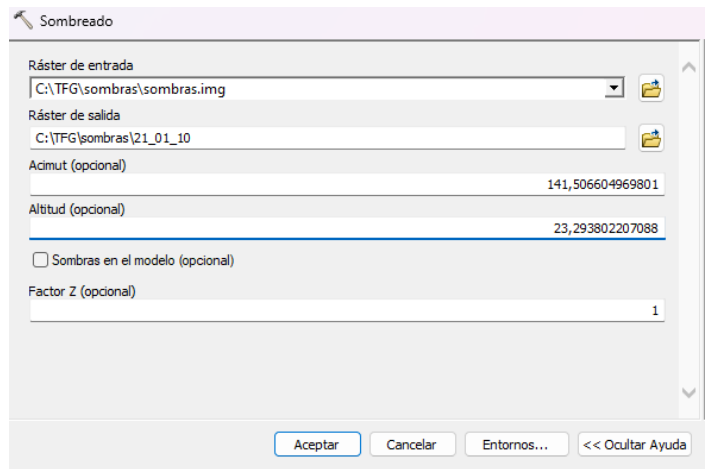
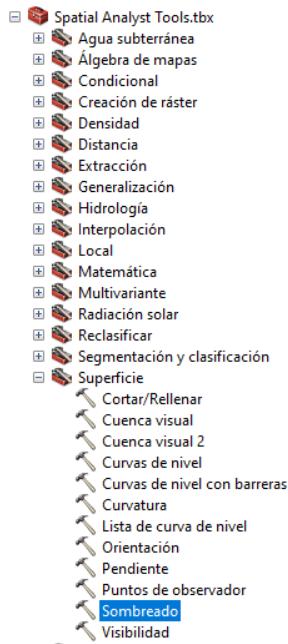


Ilustración 68. Entidades herramienta 'Sombreado'

Ilustración 70. Herramienta 'Sombreado'

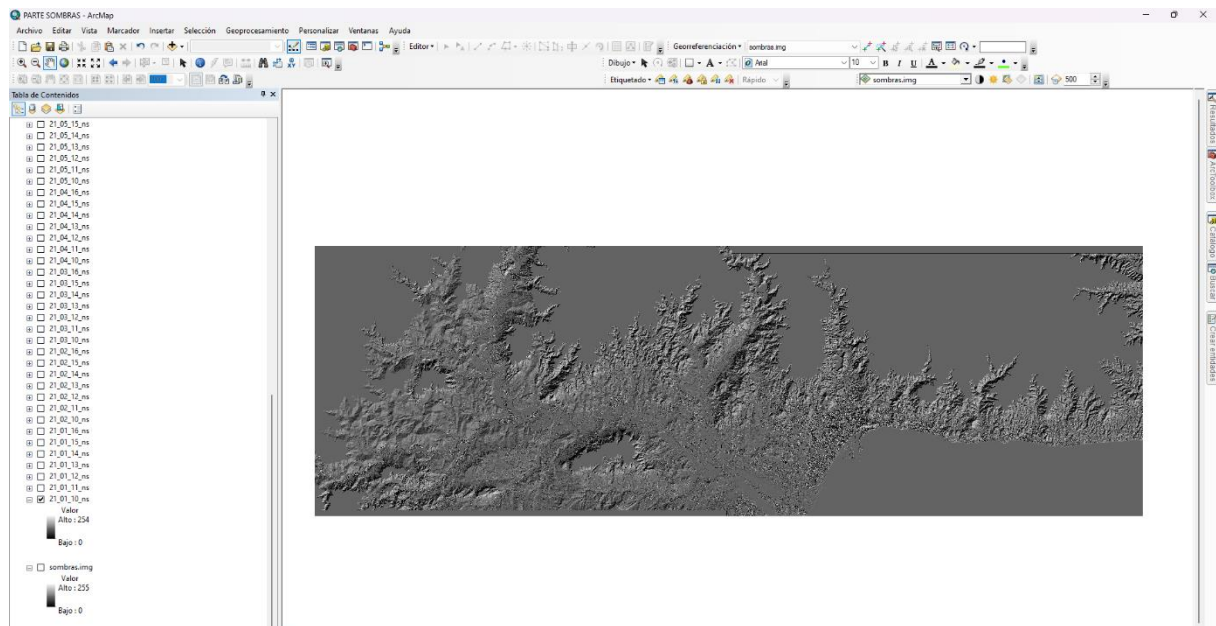
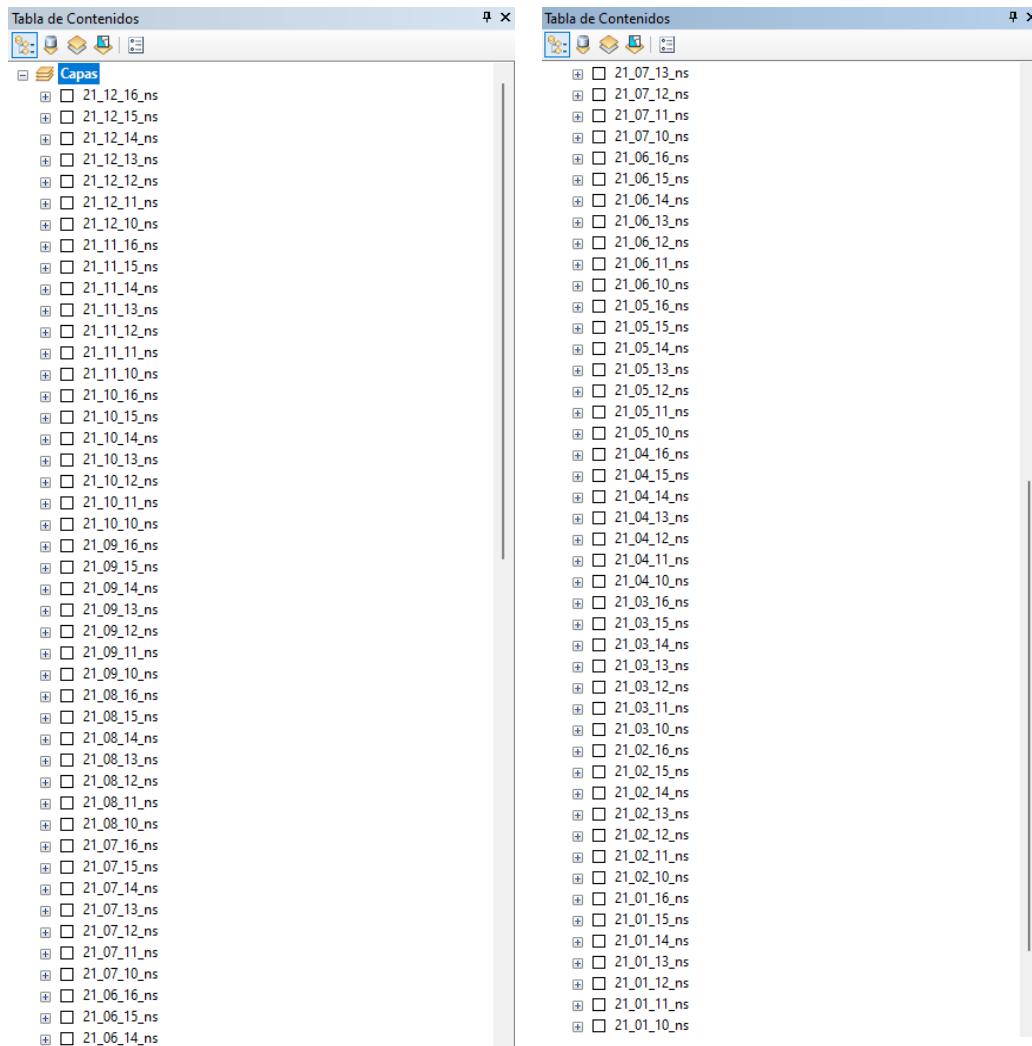


Ilustración 69. Mapa 21\_01\_10\_ns, sombras día 21 del mes de enero a las 10 horas.

Este mapa generado es clasificado entre los valores 254 y 0, siendo los píxeles de valor 254 las áreas más iluminadas y 0 las áreas más oscuras.

Este proceso es repetido para todos los días 21 del año 2022, obteniéndose finalmente un total de 84 mapas diferentes, con sus respectivos datos. Es decir, 7 mapas para cada uno de los 12 días elegidos.

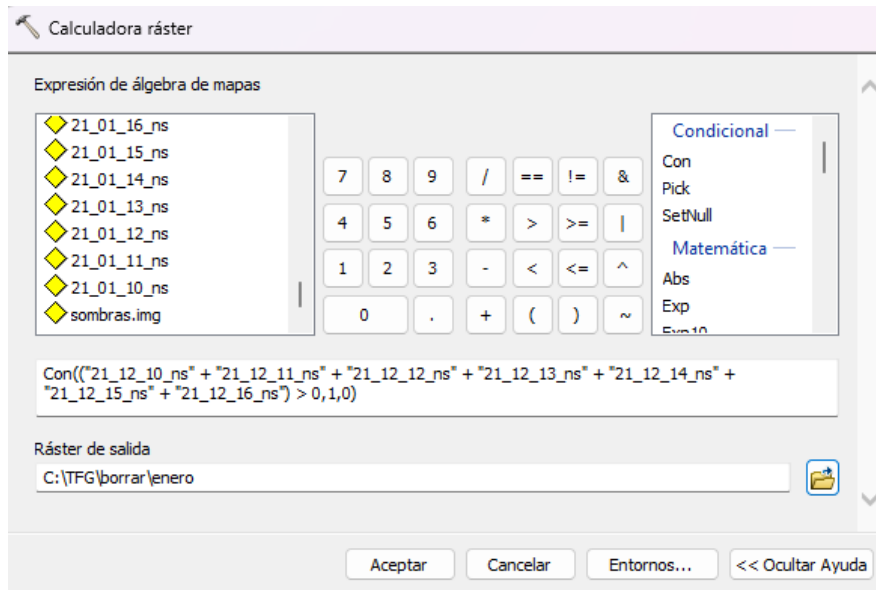


*Ilustración 71. Mapa generado para horas 10 a 16 de cada día 21 de cada mes del año 2022*

### Mapa de cada día 21

Una vez que para un día se tiene los mapas de las diferentes siete horas elegidas, con la 'Calculadora Ráster' se hace álgebra de mapas sumando los diferentes mapas para descartar aquellos que no reciben nada de luz durante las siete horas del día.

Hay que tener en cuenta que este proceso podría realizarse de otra forma diferente, multiplicando los ráster en lugar de sumándolos, con este procedimiento se eliminarían aquellos pixeles que no reciben luz en alguna de las 7 horas o más.



Con esta expresión se descartan aquellos píxeles que no reciben luz las 7 horas del día, y también se reclasifica el ráster, se asigna el valor '0' a aquellos píxeles que están en sombra y valor '1' a los que reciben luz.

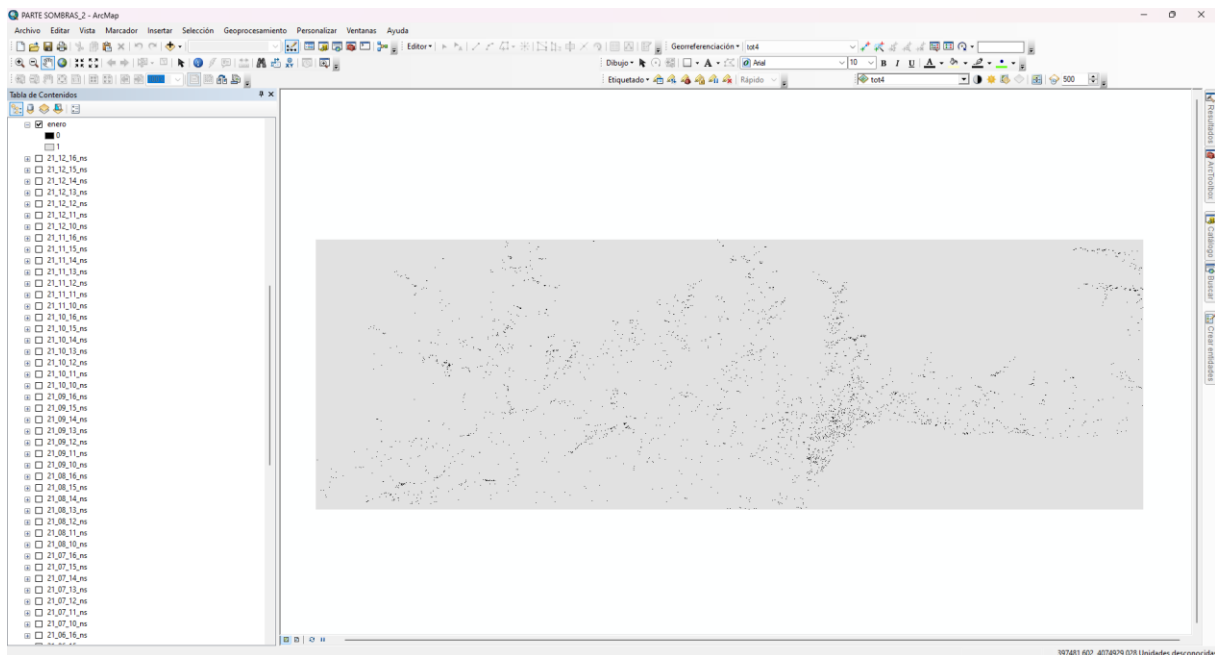


Ilustración 72. Mapa de sombras mes de enero.

Se repite este proceso para los otros once meses del año, obteniéndose finalmente doce mapas diferentes correspondientes a cada mes del año 2022, en los cuales en cada mapa de puede observar que zonas no reciben luz durante el día y cuales sí.

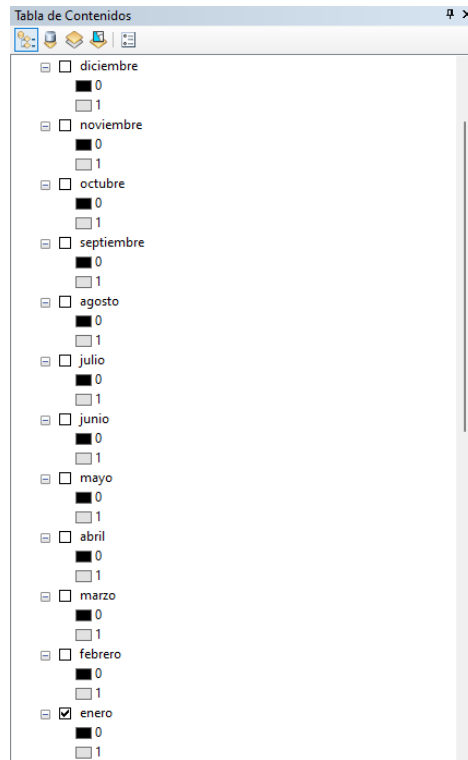


Ilustración 73. Mapa de sombras generado para cada mes del año 2022

### Mapa año completo

Por último, después de obtener el mapa que corresponde a cada mes, se ha de generar el mapa correspondiente al año completo. Se hace uso de nuevo de la 'Calculadora ráster' y se obtiene un mapa final en el que los píxeles de valor '1' son aquellos que no tienen sombra o tienen luz durante todo el año y los de valor '0' sí tienen sombra, por lo que se pueden descartar.

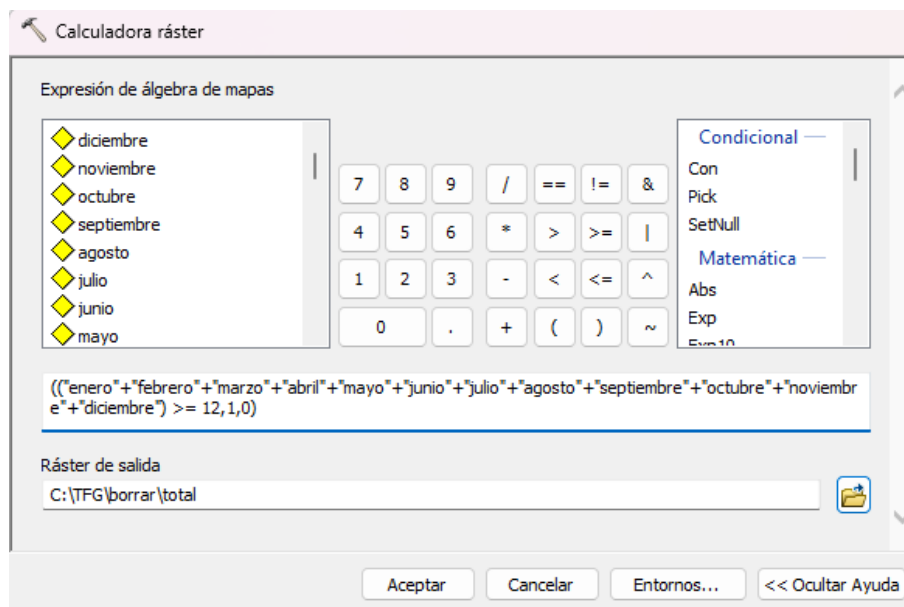


Ilustración 74. Herramienta 'Calculadora ráster'

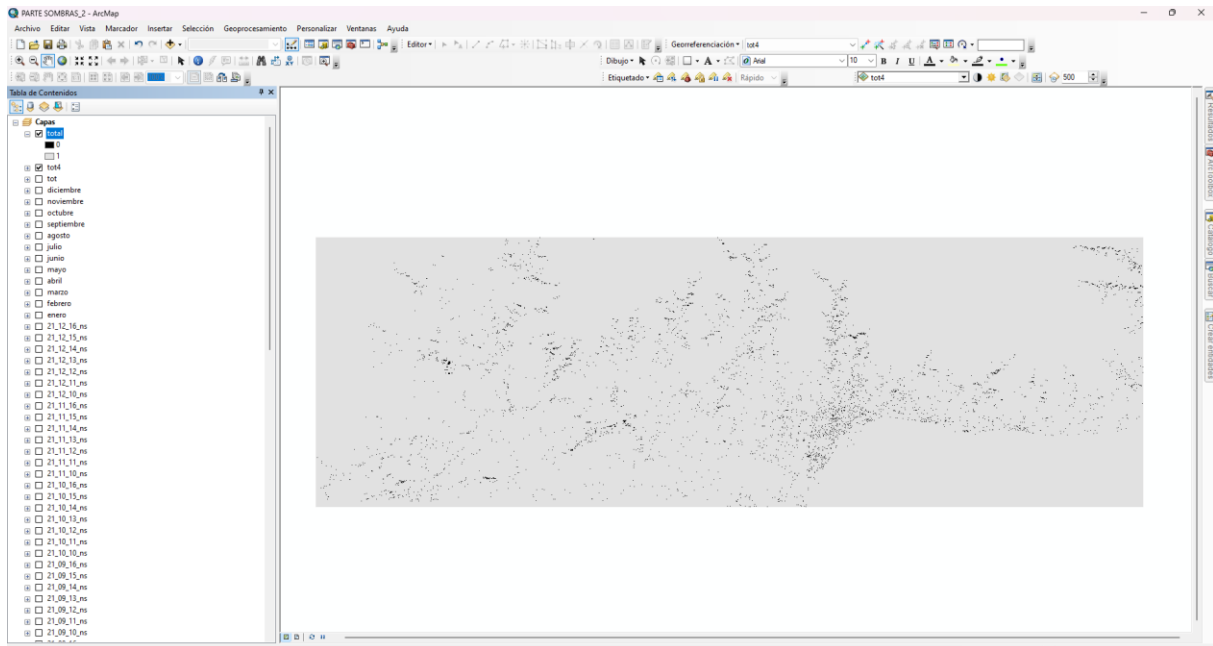


Ilustración 75. Mapa de sombras del año 2022 completo.

Dado que este mapa pertenece a una superficie muy amplia de terreno, al igual que se hizo en pasos anteriores, recortamos el mapa total de sombras para obtener únicamente el de la zona de estudio correspondiente al polígono industrial. Esto se realiza mediante el mismo proceso descrito anteriormente, con la herramienta 'Recortar', después de añadir al programa una capa que delimite el polígono, por ejemplo, la capa 'constru cártama'.

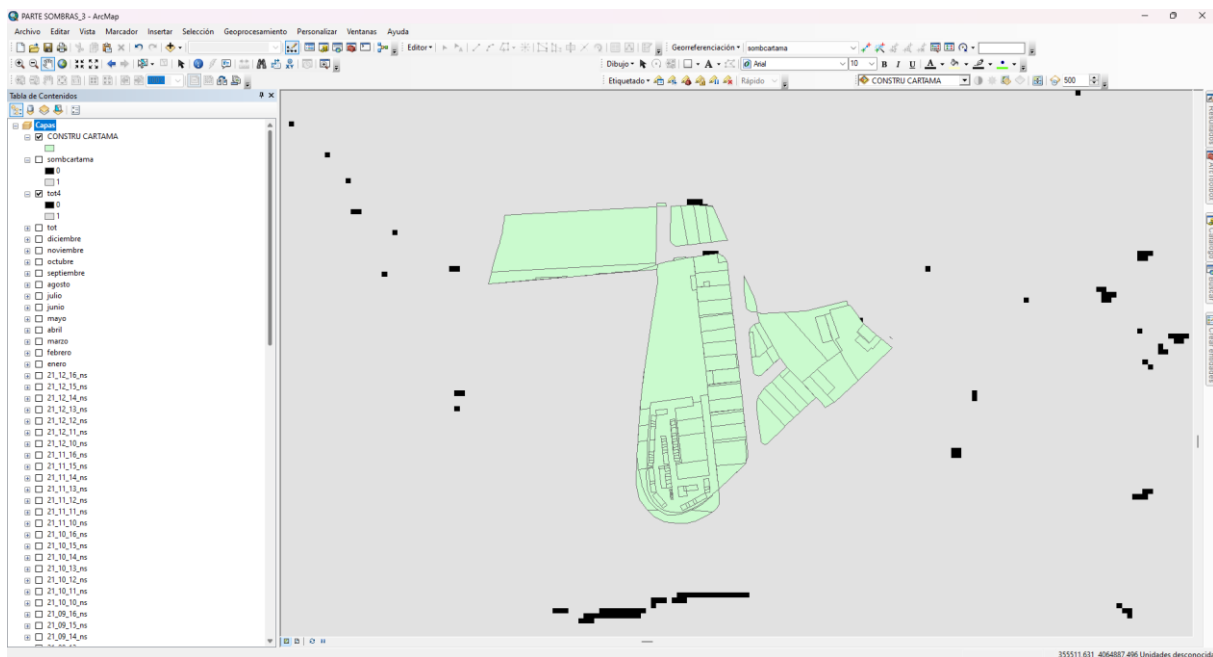


Ilustración 76. Capa añadida para recortar la zona deseada.

El resultado obtenido es el siguiente:

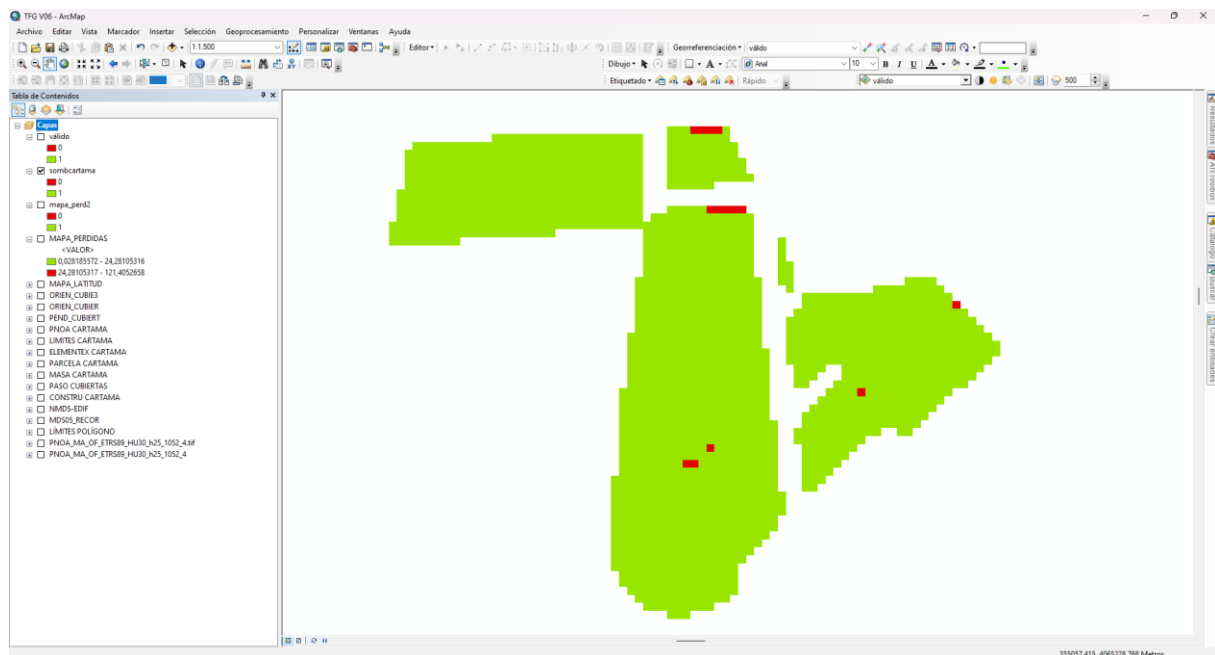


Ilustración 77. Mapa de sombras en el polígono industrial de Cártama

### 9.7 Mapa de sombras y mapa de pérdidas

Una vez que se ha obtenido el mapa total de sombras, se traslada éste al archivo anterior del programa, donde se había obtenido el mapa de pérdidas. Puesto que los dos mapas están clasificados de igual forma, valor '1' para píxeles válidos (ya sea por pérdidas inferiores al 20% o porque no tienen sombras en todo el año) y valor '0' para píxeles no válidos, entonces, con la herramienta 'Calculadora ráster' se hace una multiplicación de ambos mapas, para obtener aquellos cuyas pérdidas son inferiores a las establecidas en el CTE y además no tienen sombras, píxeles valor '1'.

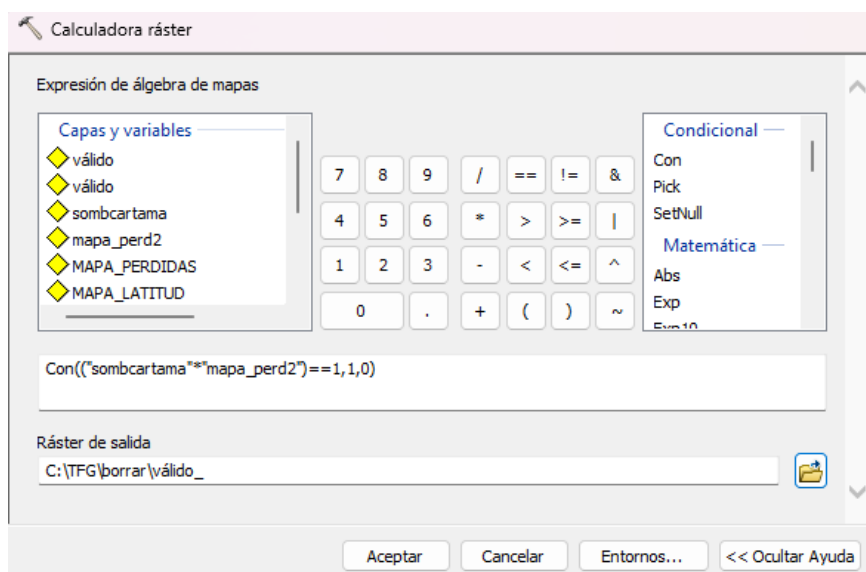


Ilustración 78. Herramienta 'Calculadora ráster'

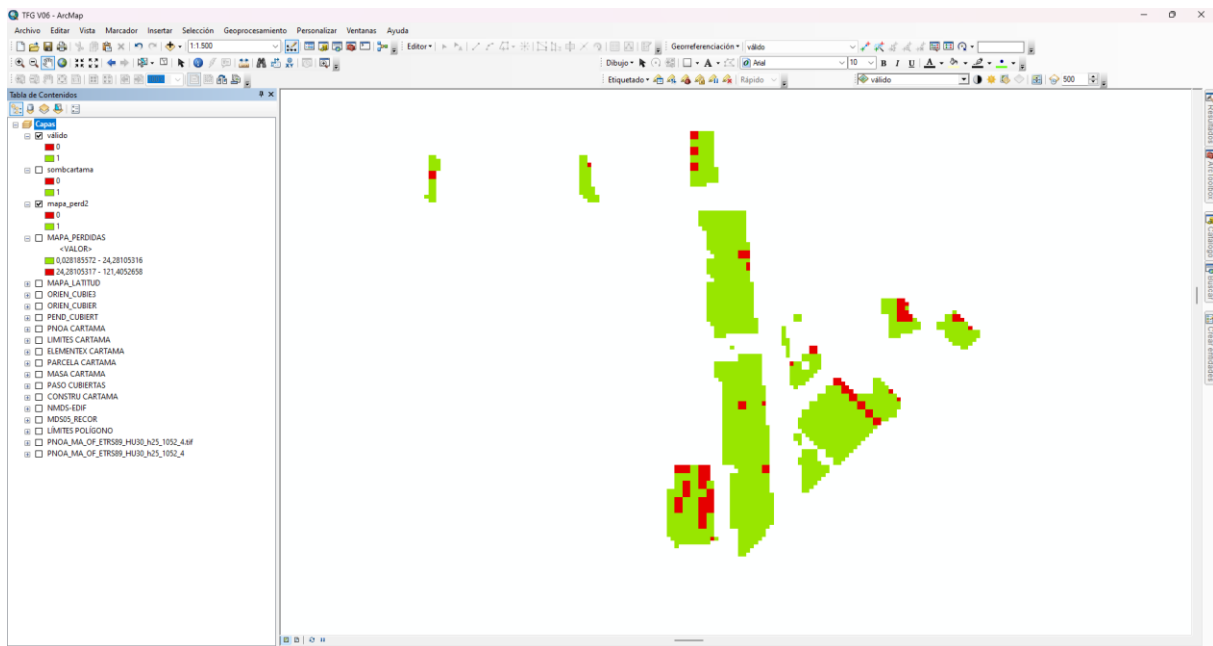


Ilustración 79. Mapa píxeles válidos por pérdidas y sombras

## 9.8 Eliminación de las zonas de paso

En la Ilustración 79 se muestran aquellas zonas del polígono industrial que cumplen con los requisitos establecidos, sin embargo, estos píxeles se superponen al mapa de zonas de paso que se había realizado en el paso 1, como se puede observar en la ilustración 80.

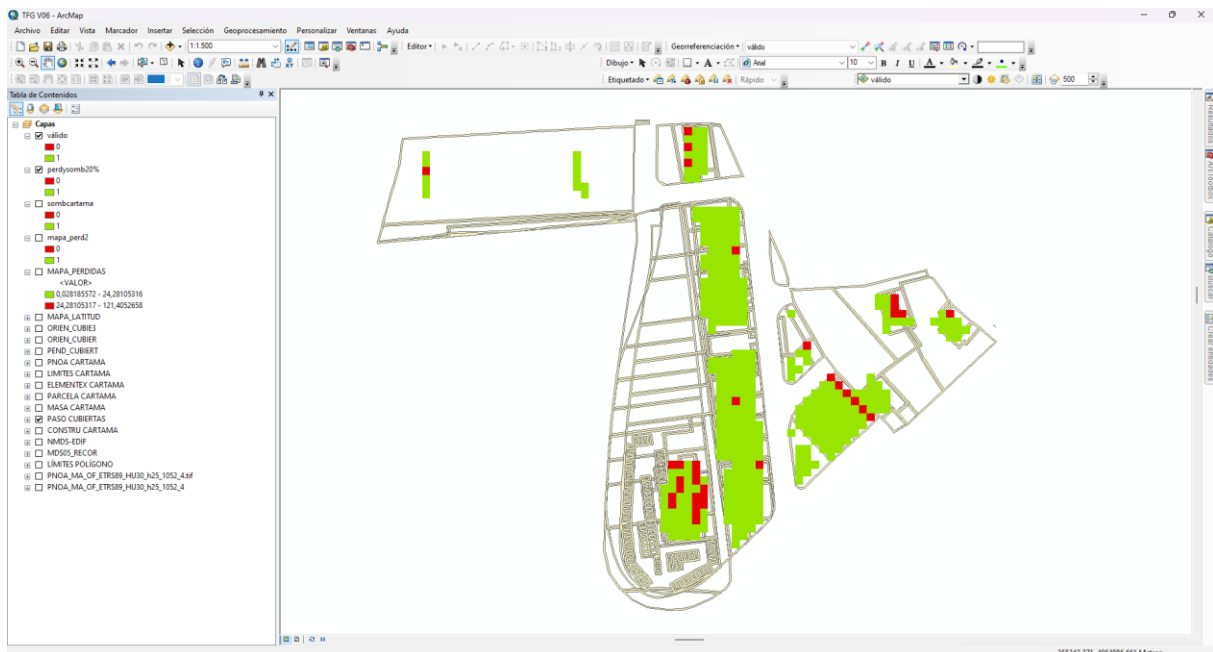


Ilustración 80. Mapa de píxeles válidos sobre mapa de zonas de paso.

Por tanto, se han de eliminar aquellos píxeles que están situados sobre las zonas de paso, ya que estos no serían válidos para realizar una instalación fotovoltaica.

Usando la herramienta 'Extracción por máscara' se extraen de un ráster determinadas celdas que corresponden a las áreas definidas por una máscara.

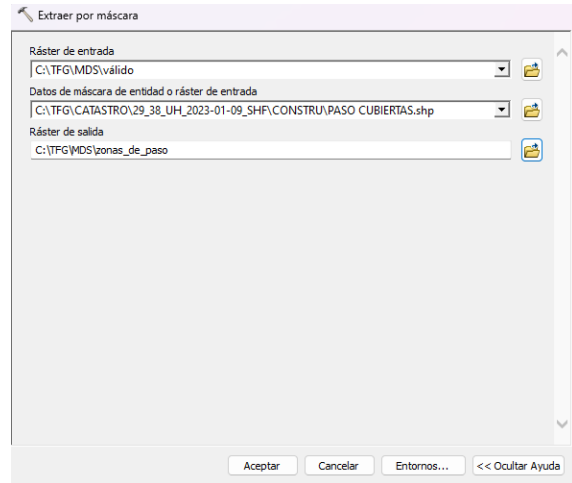
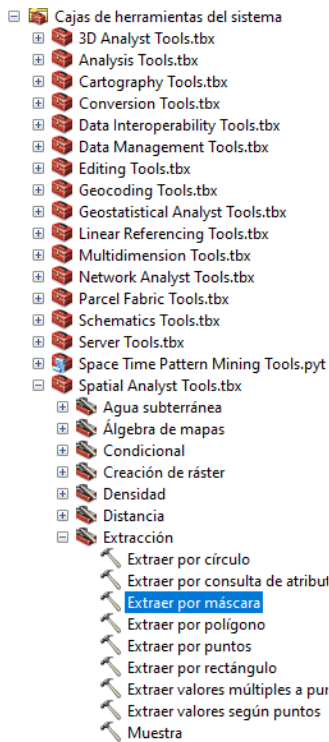


Ilustración 81. Entidades herramienta 'Extraer por máscara'

Ilustración 82. Herramienta 'Extraer por máscara'

El programa, por el contrario de lo esperado, selecciona del ráster de entrada las entidades que coinciden con la máscara, la zona de paso de las cubiertas en este caso, por lo que el resultado aportado es el siguiente, siendo el deseado el contrario.

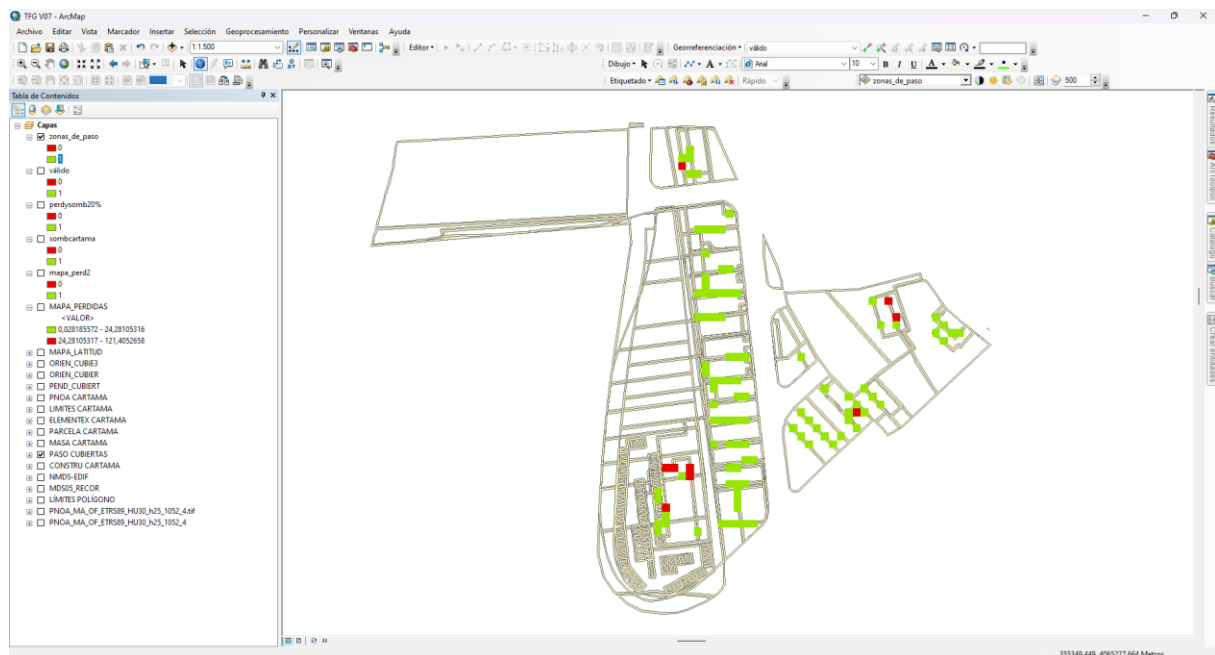


Ilustración 83. Resultado mapa 'Extracción por máscara'

Se han de eliminar entonces del ráster denominado 'válido' (ilustración 80), aquellos píxeles que coinciden con el ráster denominado 'zonas de paso'. Esto, no obstante, no se puede realizar en el programa, de un ráster solo se pueden eliminar datos de una capa tipo 'polígono'. Una primera opción hubiese sido convertir el ráster 'zonas de paso' en un polígono y utilizar posteriormente la herramienta 'recortar', pues esto no funciona ya que, igual que ocurre antes, el programa selecciona las entidades coincidentes por lo que nos quedaríamos de nuevo con los mismos píxeles del ráster 'zonas de paso'.

Se han probado diferentes métodos, pero no dan resultado, esto ocurre también por el hecho de que las capas obtenidas del catastro no están correctamente digitalizadas, y al realizar diferentes operaciones no toma los datos correctos. Un ejemplo es el siguiente; si nos situamos en la capa 'parcela\_cartama' y utilizamos la herramienta 'Identificar' para que nos dé información sobre, por ejemplo, la parcela señalada en la ilustración 85, al seleccionar esa parcela, lo que realmente se selecciona es lo mostrado en la ilustración 84. Por tanto, estas capas generarían errores en los siguientes pasos.

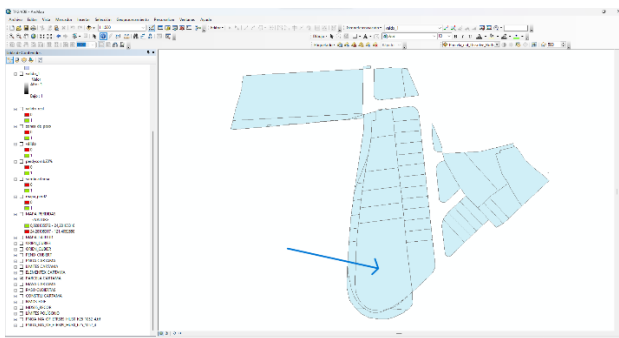


Ilustración 85. Capa 'parcela\_cartama'

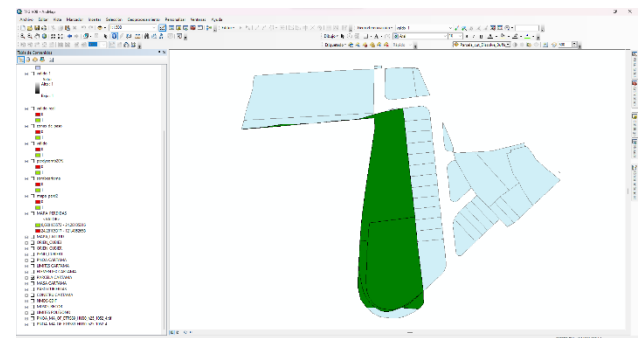


Ilustración 84. Selección en capa 'parcela\_cartama'

Para solucionar esto se ha optado por digitalizar manualmente la zona de estudio con las naves industriales deseadas. Asimismo, cada nave industrial se ha dividido en los diferentes paños de las cubiertas, para tener así una mayor exactitud en los procesos de cálculo.

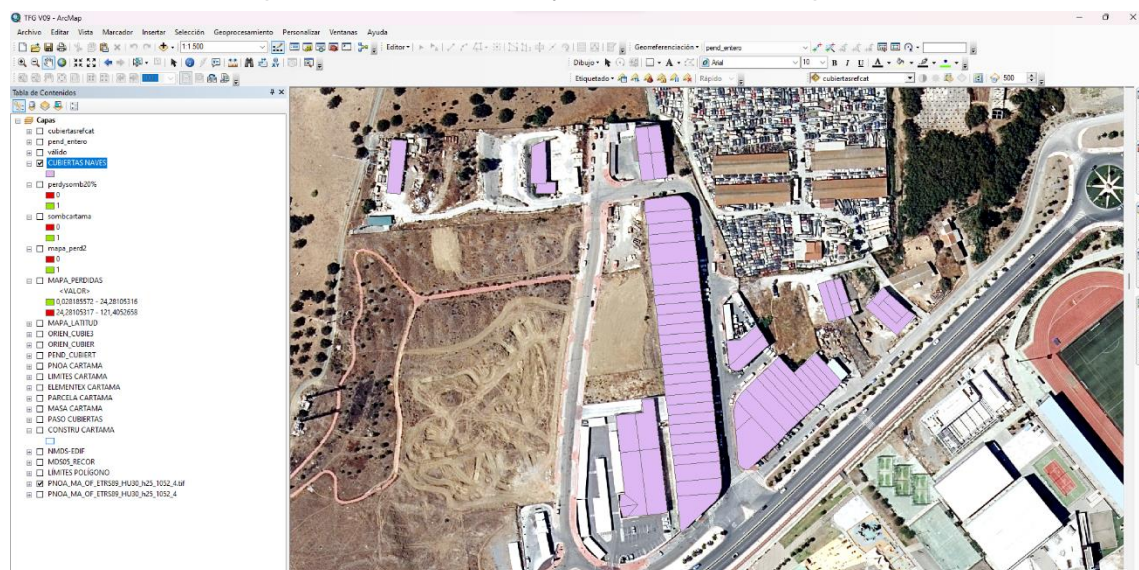


Ilustración 86. Digitalización de las naves industriales

Esto se ha llevado a cabo creando una capa tipo 'polígono' y dibujando en ella los diferentes polígonos correspondientes a cada paño de cada nave. Es el mismo procedimiento que se ha utilizado en "8.3 Preparación de los datos, paso a)", donde también se creó una capa tipo 'polígono' para dibujar en él el polígono delimitante de la zona de estudio. A este capa resultado (ilustración 86) se le ha dado el nombre 'CUBIERTAS NAVES'.

Para alcanzar entonces el objetivo deseado, se han seguido los siguientes pasos. Una vez que se tienen digitalizada nuestras naves industriales, como esto son solo polígonos sin ningún tipo de información, les añadimos la referencia catastral y el resto de datos de información mediante la herramienta 'Unión espacial'. Esta herramienta une los atributos de una entidad (los polígonos creados anteriormente) con otra (la parcela con información es 'constru\_cartama') basada en la relación espacial (en este caso se ha hecho según el centroide).

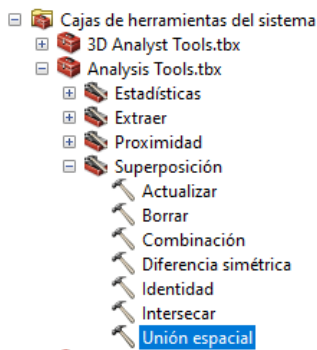


Ilustración 88. Herramienta 'Unión espacial'

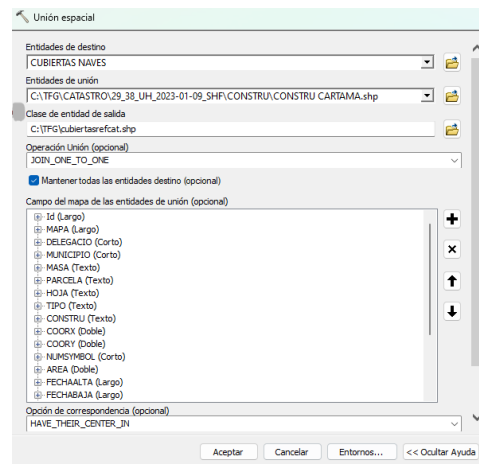


Ilustración 87. Entidades herramienta 'Unión espacial'

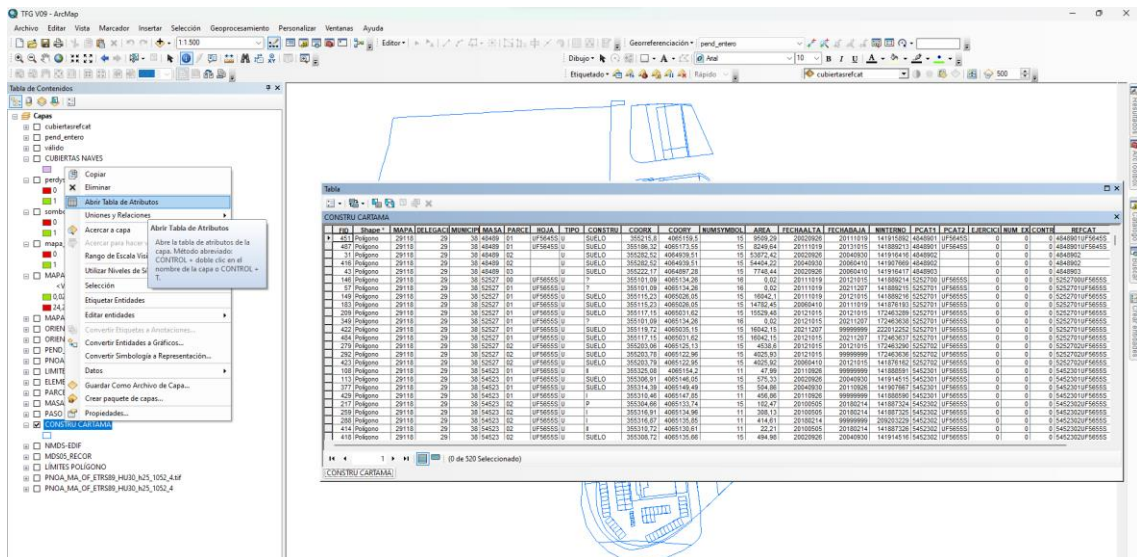


Ilustración 89. Información capa 'constru\_cartama'

Se puede observar entonces, como la capa resultado, tiene asignada la información que la capa 'constru\_cartama' tiene.

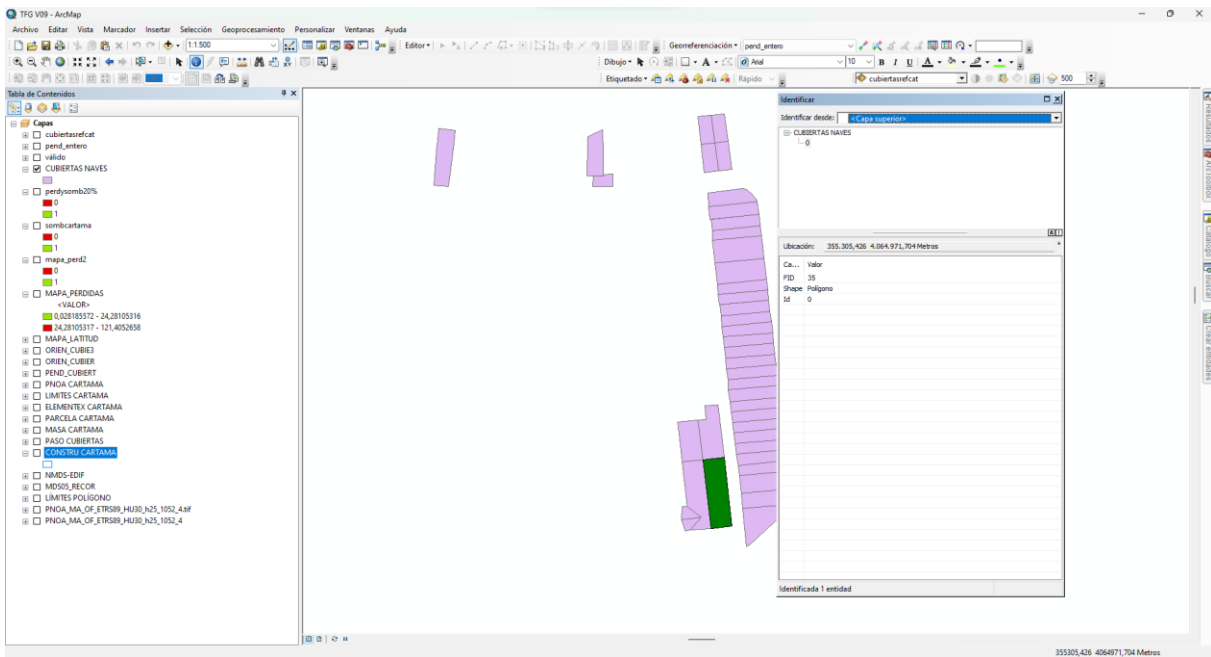


Ilustración 90. Capa origen 'CUBIERTAS NAVES' sin información

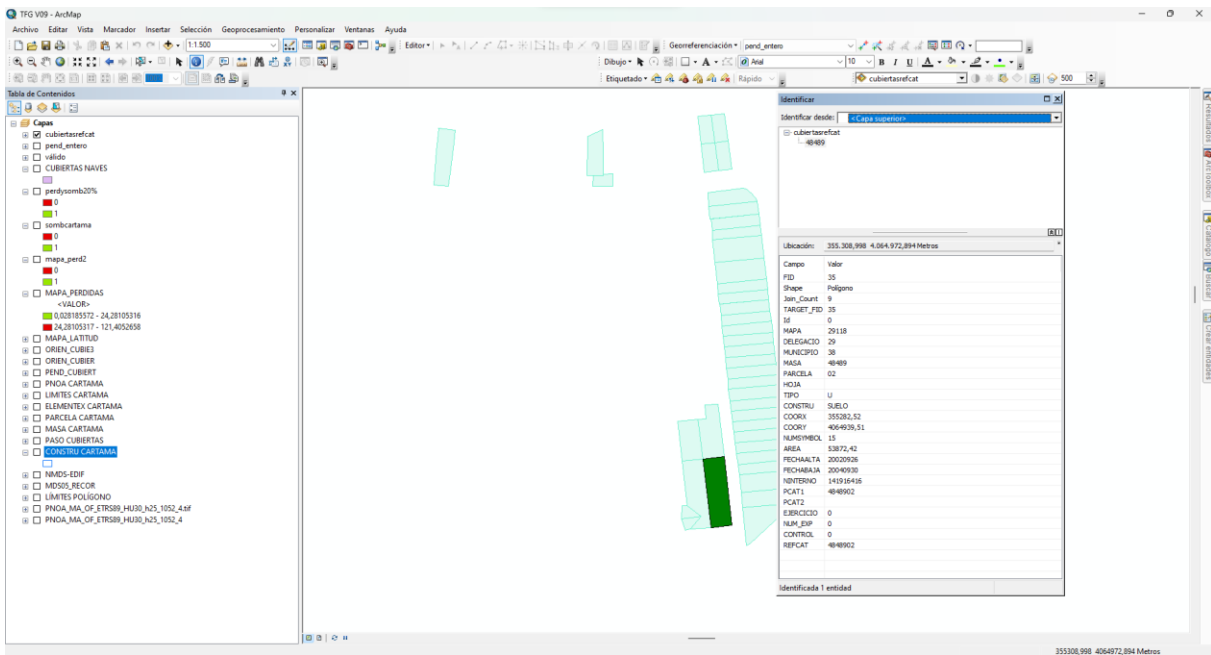


Ilustración 91. Capa resultado 'cubiertasrefcat' con información asignada.

Una vez hecho esto, se han de unir los diferentes paños que correspondan a las mismas naves para reorganizar así el mapa según la referencia catastral.

Para ello se usa la herramienta 'Dissolver', una entidades según el atributo deseado, en este caso según la referencia catastral (parámetro 'REFCAT') de cada parcela.

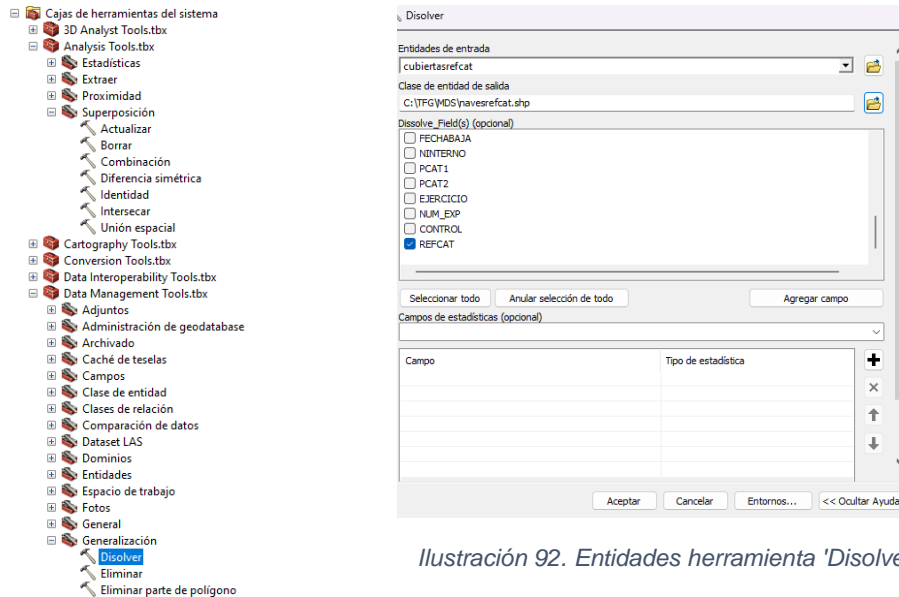


Ilustración 92. Entidades herramienta 'Dissolver'

Ilustración 94. Herramienta 'Dissolver'

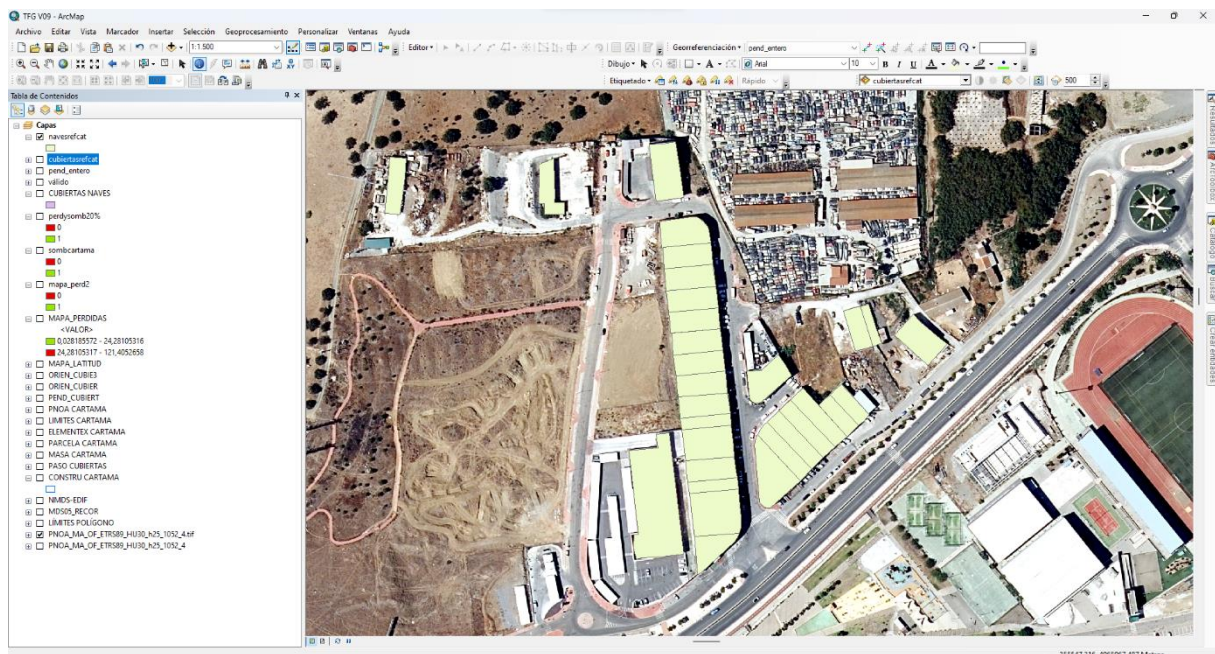


Ilustración 93. Capa 'naveresrefcat', escala 1:1.500

Ahora sí pueden eliminarse las zonas de paso de las naves, para obtener finalmente los píxeles válidos de cada una. Se utiliza para ello la herramienta 'Zona de influencia' utilizada también en el paso uno de este apartado de tratamiento de los datos.

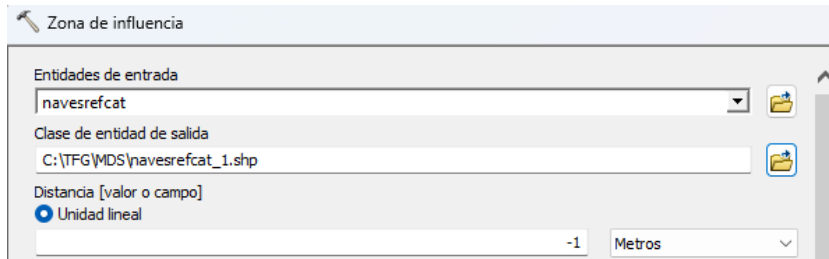


Ilustración 95. Entidades herramienta 'Zona de influencia'

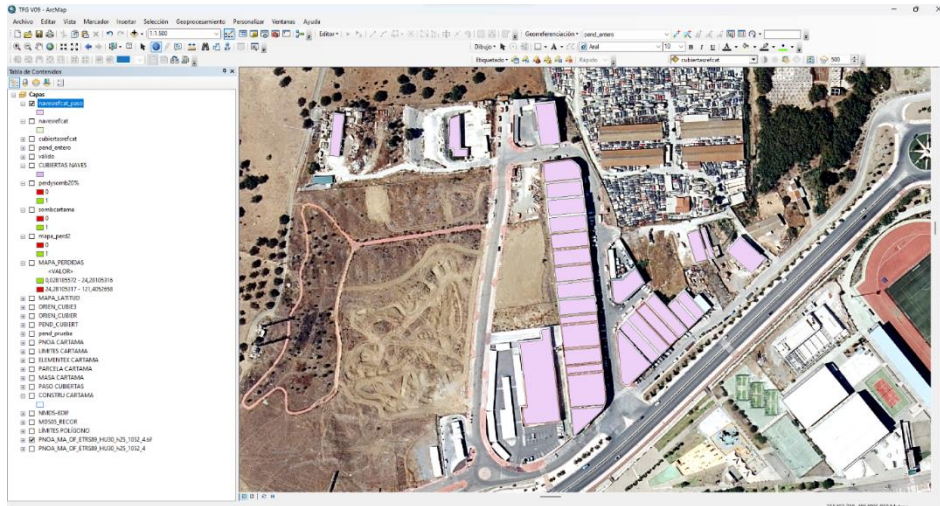


Ilustración 96. Mapa naves sin zonas de paso, escala 1:1.500

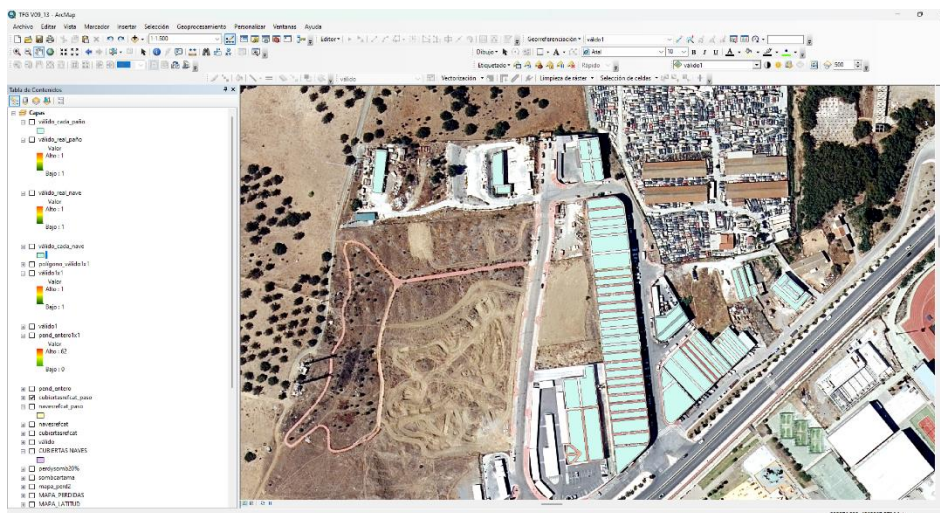


Ilustración 97. Mapa paños sin zonas de paso, escala 1:1.500

Después de la realización de todos estos pasos, se puede proceder a eliminar de la capa 'válido', la cual contiene a los píxeles válidos según pérdidas, aquellos píxeles que se superponen con las zonas de paso y que por tanto no se pueden considerar como buenos para el cálculo de superficie indicada para la instalación de placas solares. Es decir, nos quedamos con los píxeles que coinciden con cada cubierta.

Se han probado diferentes herramientas para realizar este proceso, como la ya usada anteriormente 'Extraer por máscara', sin embargo no se obtenía el resultado deseado, por lo

que finalmente se ha optado por tomar el siguiente camino: primero se ha de convertir la capa de píxeles válidos en una capa tipo 'polígono'.

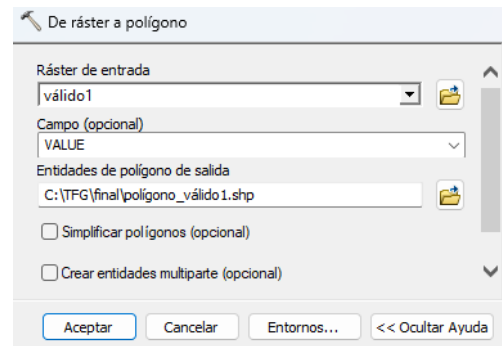
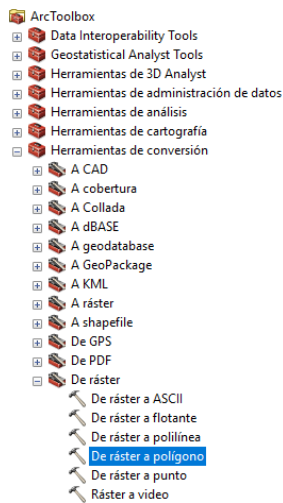


Ilustración 98. Entidades entrada herramienta 'De ráster a polígono'

Ilustración 99. Herramienta 'De ráster a polígono'

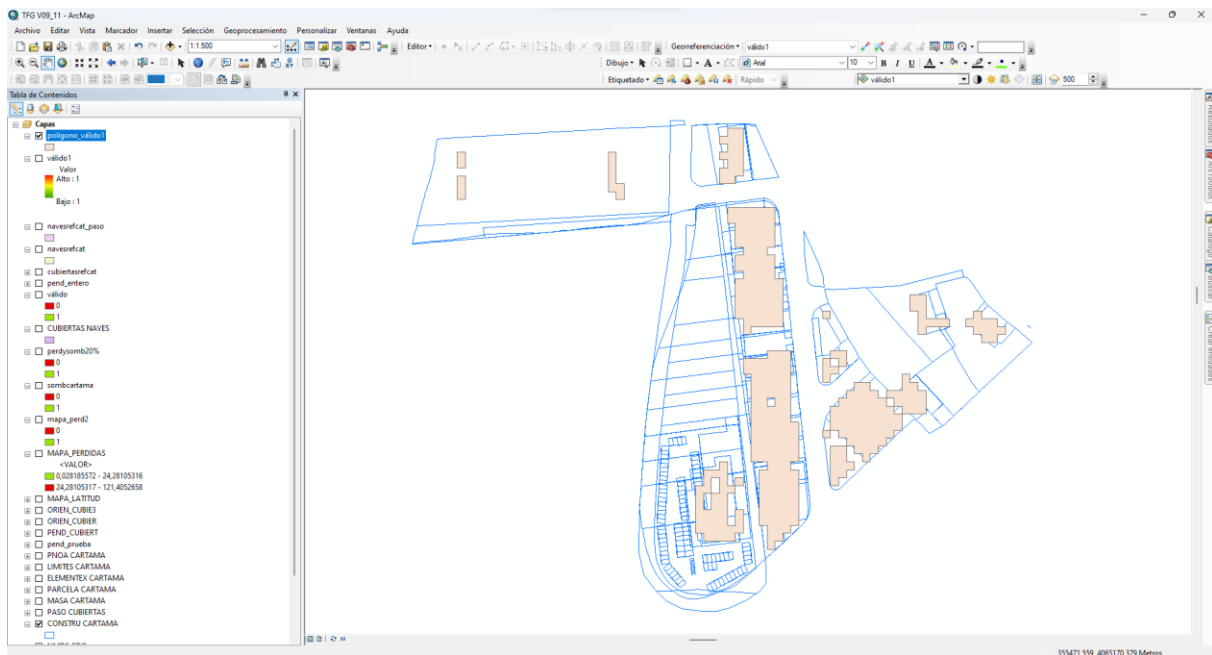


Ilustración 100. Capa polígono de capa 'polígono válido'

En segundo lugar, se va a utilizar la herramienta 'Intersecar' para obtener los píxeles coincidentes entre los polígonos de las naves y la capa polígono de píxeles válidos. (Ilustración 104). Igualmente por otro lado se van a obtener los píxeles coincidentes entre cada paño de manera independiente y la capa polígono de píxeles válidos. (Ilustración 105).

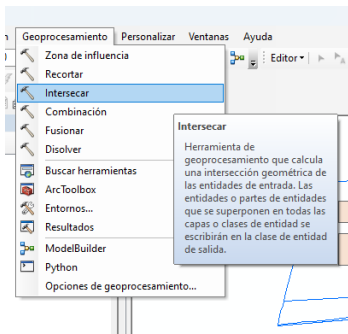


Ilustración 102. Herramienta 'Intersectar'

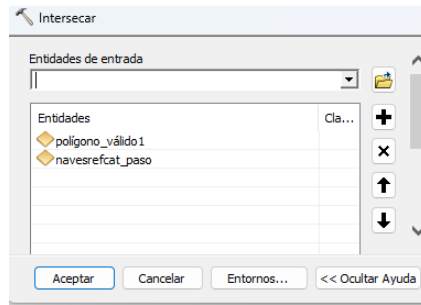


Ilustración 103. Entidades de entrada herramienta 'Intersectar' para naves

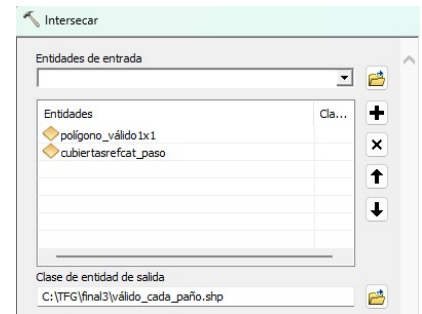


Ilustración 101. Entidades de entrada herramienta 'Intersectar' para paños

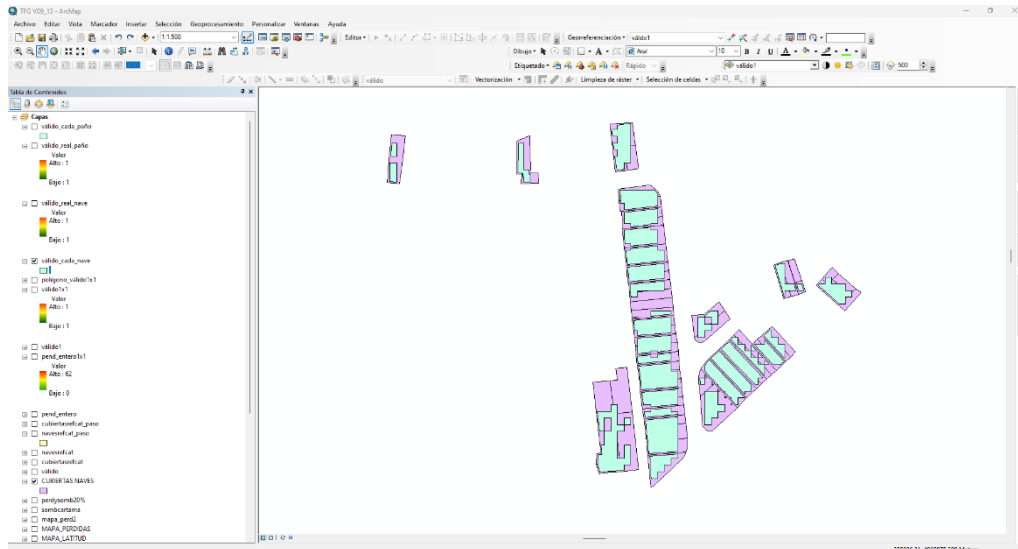


Ilustración 104. Capa polígono de píxeles válidos en cada nave

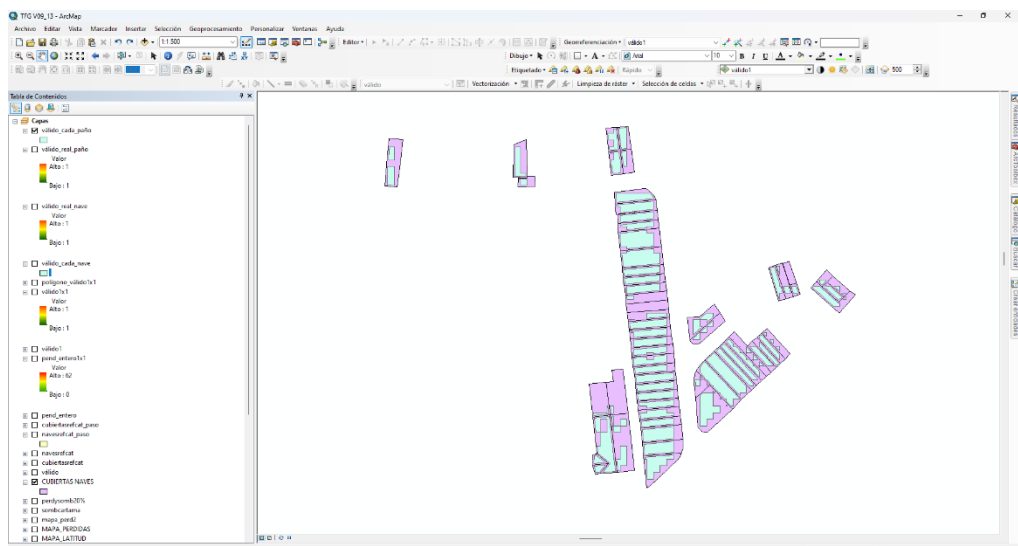


Ilustración 105. Capa polígono de píxeles válidos en cada paño

Por último, ya se puede utilizar entonces la herramienta 'Recortar', se utilizan estas últimas la capa 'válido'. El programa, con esta herramienta, conserva aquello que coincide, por lo que el resultado obtenido serán los píxeles de la capa 'valido' sin aquellos que se han detectado que coinciden con las zonas de paso de las naves completas y de cada uno de los paños.

- Ráster
    - Catálogo de ráster
    - Dataset de mosaico
    - Dataset ráster
    - Procesamiento de ráster
      - Bandas compuestas
      - Calcular pesos de refinad
      - Crear dataset ráster con re
      - Crear dataset ráster ortoc
      - De ráster a DTED
      - Dividir ráster
      - Extraer subdataset
      - Generar tabla a partir de u
      - Recortar**
      - Remuestrear
    - Propiedades de ráster
    - Representación cartográfica d
    - Representación cartográfica o

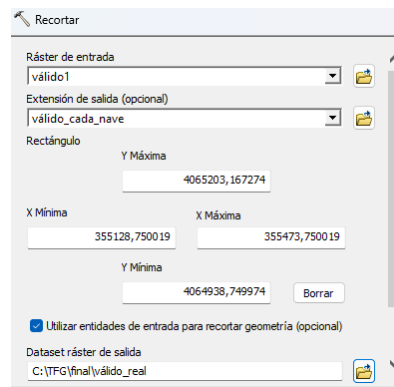


Ilustración 107. Herramienta 'Recortar un ráster' Ilustración 106. Entidades herramienta 'Recortar un ráster'

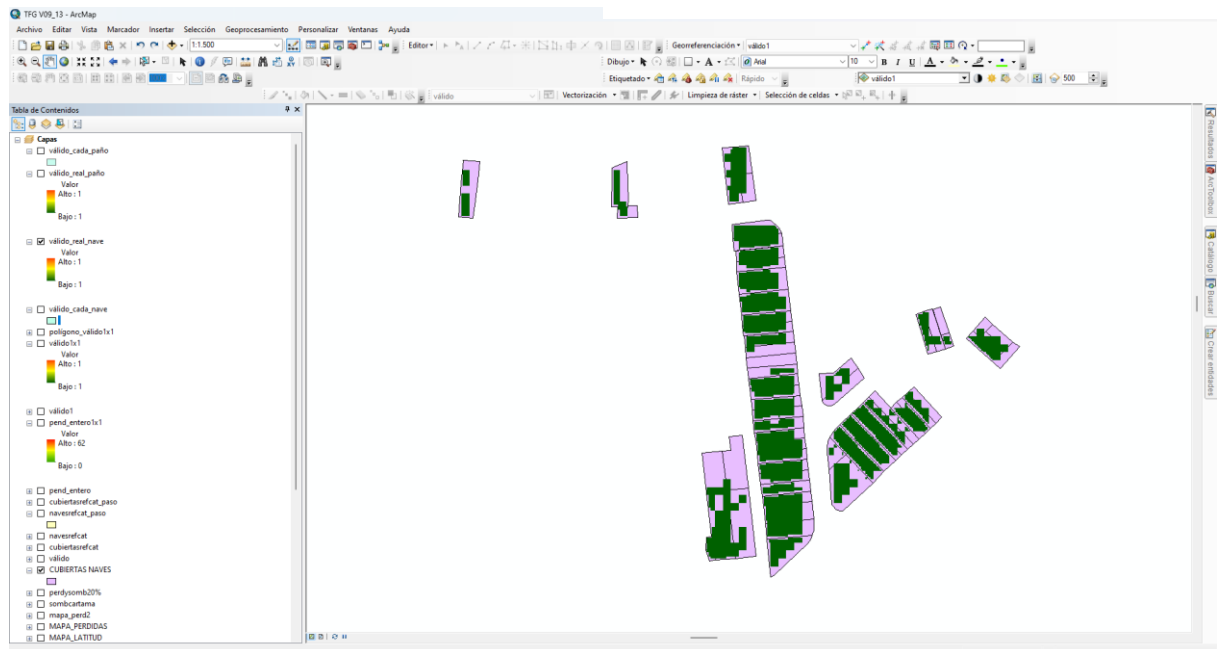


Ilustración 109. Mapa de píxeles válidos de cada nave

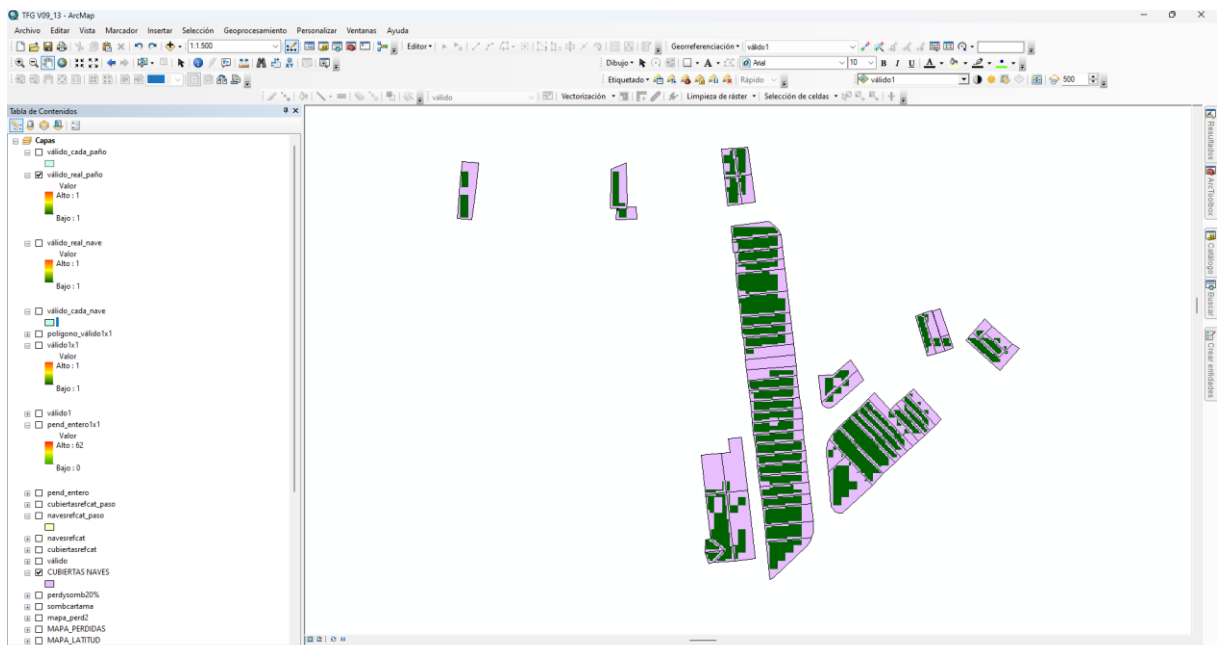


Ilustración 108. Mapa de píxeles válidos de cada paño

## 9.9 Resumen estadístico

Posteriormente, con la herramienta “estadísticas zonales como tabla” se resume espacialmente para cada referencia catastral el número de píxeles que hay dentro de cada referencia catastral y se obtiene una tabla denominada ‘pixeles\_validos\_reales’.

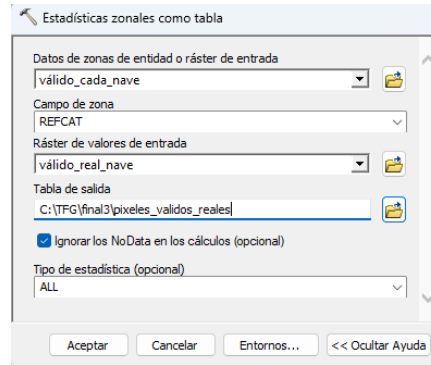
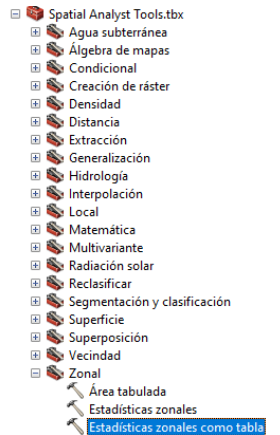


Ilustración 111. Herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Ilustración 110. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Rowid	REFCAT *	COUNT	AREA
1	4848901UF5645S	243	243
19	4848902	729	729
3	5452301UF5655S	358	358
4	5452302UF5655S	269	269
5	5452303UF5655S	284	284
6	5452304UF5655S	304	304
7	5452305UF5655S	299	299
8	5452306UF5655S	171	171
20	5452307UF5655S	51	51
21	5452308UF5655S	309	309
22	5452309UF5655S	280	280
23	5452310UF5655S	125	125
24	5452311UF5655S	468	468
25	5452312UF5655S	288	288
26	5452314UF5655S	582	582
27	5452315UF5655S	201	201
28	5452325UF5655S	110	110
2	5554104UF5655S	362	362
11	5554109UF5655S	165	165
9	5554111UF5655S	134	134
10	5554112UF5655S	260	260
12	5554115UF5655S	153	153
16	5554116UF5655S	297	297
17	5554117UF5655S	296	296
18	5554118UF5655S	296	296
15	5554119UF5655S	271	271
13	5554120UF5655S	158	158
14	5554121UF5655S	106	106

Ilustración 112. Tabla resumen estadístico pixeles válidos por nave

Después esta tabla se enlaza con la capa de parcela ‘constru\_cartama’ mediante la herramienta ‘Unión’ por el campo de referencia catastral. Luego esto se exporta como una capa nueva para que se quede fija la unión. Finalmente, en esta tabla final (‘constru+pixeles\_validos’) es limpiada para obtener únicamente aquellos datos representativos.

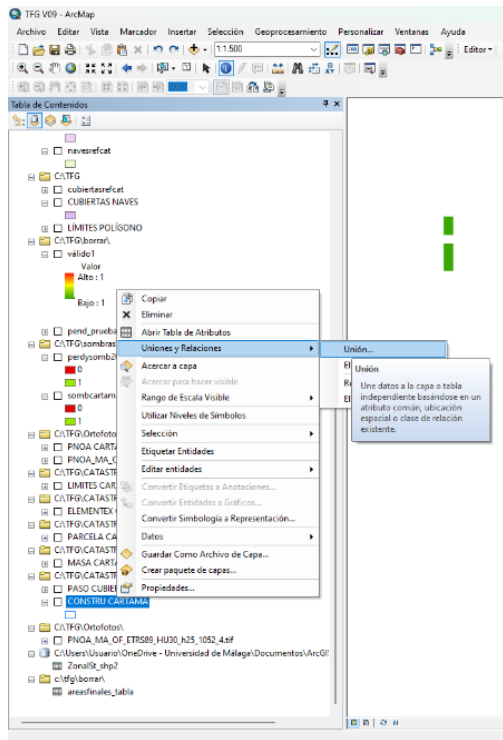


Ilustración 114. Herramienta 'Unión'

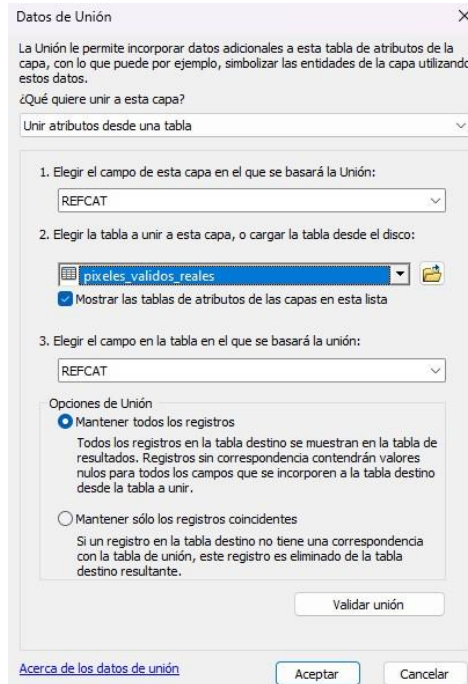


Ilustración 113. Entidades herramienta 'Unión'

Se lleva a cabo un tratamiento de los datos correspondiente a la tabla, siguiente ilustración (Ilustración 115). Se conoce que el área de cada píxel es de  $1 \text{ m}^2$ , la capa catastral de modelo digital de superficies de edificación, estaban representadas por píxeles cuadrados de 2.5 metros de lado, pero se ha cambiado esta resolución a píxeles de 1x1 metro para tener una mayor precisión en los procesos de cálculo.

A continuación, se muestran las diferentes naves, de la 1 a la 28, ordenadas según la referencia catastral. Por otro lado, se muestra la suma de píxeles asignada a cada una de esas referencias, y el área total de esos píxeles, calculado multiplicando el número de píxeles por  $1 \text{ m}^2$ . La columna denomina 'AREA' muestra entonces la superficie disponible que cuenta con buenas condiciones para instalación de placas solares en cada parcela. La primera fila representa el área total viable del polígono,  **$7569 \text{ m}^2$** .

FID	Shape *	REFCAT	REFCAT 1	COUNT 1	AREA 1
28	Polígono			7569	7569
27	Polígono	4848901UF5645S	4848901UF5645S	243	243
4	Polígono	4848902	4848902	729	729
14	Polígono	5452301UF5655S	5452301UF5655S	358	358
25	Polígono	5452302UF5655S	5452302UF5655S	269	269
1	Polígono	5452303UF5655S	5452303UF5655S	284	284
5	Polígono	5452304UF5655S	5452304UF5655S	304	304
12	Polígono	5452305UF5655S	5452305UF5655S	299	299
20	Polígono	5452306UF5655S	5452306UF5655S	171	171
8	Polígono	5452307UF5655S	5452307UF5655S	51	51
7	Polígono	5452308UF5655S	5452308UF5655S	309	309
0	Polígono	5452309UF5655S	5452309UF5655S	280	280
6	Polígono	5452310UF5655S	5452310UF5655S	125	125
3	Polígono	5452311UF5655S	5452311UF5655S	468	468
17	Polígono	5452312UF5655S	5452312UF5655S	288	288
18	Polígono	5452314UF5655S	5452314UF5655S	582	582
16	Polígono	5452315UF5655S	5452315UF5655S	201	201
11	Polígono	5452325UF5655S	5452325UF5655S	110	110
19	Polígono	5554104UF5655S	5554104UF5655S	362	362
22	Polígono	5554109UF5655S	5554109UF5655S	165	165
26	Polígono	5554111UF5655S	5554111UF5655S	134	134
24	Polígono	5554112UF5655S	5554112UF5655S	260	260
23	Polígono	5554115UF5655S	5554115UF5655S	153	153
10	Polígono	5554116UF5655S	5554116UF5655S	297	297
21	Polígono	5554117UF5655S	5554117UF5655S	296	296
9	Polígono	5554118UF5655S	5554118UF5655S	296	296
15	Polígono	5554119UF5655S	5554119UF5655S	271	271
13	Polígono	5554120UF5655S	5554120UF5655S	158	158
2	Polígono	5554121UF5655S	5554121UF5655S	106	106

Ilustración 115. Tabla 'constru+pixeles\_validos'

Se realiza ahora el mismo procedimiento de resumen estadístico, pero esta vez en lugar de hacerlo por referencia catastral, se hace por el parámetro 'FID', es decir, por cada uno de los paños de cada polígono.

Ilustración 116. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Rowid	FID	COUNT	AREA
1	0	110	110
2	1	26	26
3	2	96	96
4	3	69	69
5	4	80	80
6	5	94	94
7	6	37	37
8	7	145	145
9	8	157	157
10	9	130	130
11	10	88	88
12	11	284	284
13	12	304	304
14	13	130	130
15	14	115	115
16	15	126	126
17	16	15	15
18	18	51	51
19	19	136	136
20	20	119	119
21	21	120	120
22	22	110	110
23	23	125	125
24	24	104	104
25	25	139	139
26	26	123	123
27	27	130	130
28	28	106	106
29	29	110	110
30	30	109	109
31	31	210	210
32	32	172	172
33	33	201	201
34	34	326	326
35	35	151	151
36	36	33	33
37	37	26	26
38	38	22	22
39	39	12	12
40	40	249	249
41	41	19	19
42	42	296	296
43	43	296	296
44	44	114	114
45	45	111	111
46	46	100	100
47	47	23	23
48	48	67	67
49	49	50	50
50	50	59	59
51	51	12	12
52	52	87	87
53	53	39	39
54	54	78	78
55	55	26	26
56	57	20	20
57	58	9	9
58	59	47	47
59	60	91	91
60	61	13	13

Ilustración 117. Tabla resumen estadístico píxeles válidos por paño

Igualmente, esta tabla se enlaza con la capa 'cubiertasrefcat' mediante la herramienta 'Unión' por el campo 'FID'. Luego esto se exporta como una capa nueva para que se quede fija la unión. Finalmente, esta tabla final ('constru+pixeles\_validos\_FID) es limpiada para obtener únicamente los datos representativos.

Datos de Unión

La Unión le permite incorporar datos adicionales a esta tabla de atributos de la capa, con lo que puede por ejemplo, simbolizar las entidades de la capa utilizando estos datos.

¿Qué quiere unir a esta capa?

Unir atributos desde una tabla

- Elegir el campo de esta capa en el que se basará la Unión:  
FID
- Elegir la tabla a unir a esta capa, o cargar la tabla desde el disco:  
pixeles\_validos\_reales\_FID  
 Mostrar las tablas de atributos de las capas en esta lista
- Elegir el campo en la tabla en el que se basará la unión:  
FID

Opciones de Unión

Mantener todos los registros  
Todos los registros en la tabla destino se muestran en la tabla de resultados. Registros sin correspondencia contendrán valores nulos para todos los campos que se incorporen a la tabla destino desde la tabla a unir.

Mantener sólo los registros coincidentes  
Si un registro en la tabla destino no tiene una correspondencia

Ilustración 118. Entidades herramienta 'Unión'

Tabla

constru+pixeles\_validos\_FID\_

FID	Shape *	REFCAT	COUNT	AREA 1
0	Polígono	4848901UF5645S	110	110
1	Polígono	4848901UF5645S	26	26
2	Polígono	4848901UF5645S	96	96
3	Polígono	5554104UF5655S	69	69
4	Polígono	5554104UF5655S	80	80
5	Polígono	5554104UF5655S	94	94
6	Polígono	5554104UF5655S	37	37
7	Polígono	5452301UF5655S	145	145
8	Polígono	5452301UF5655S	157	157
9	Polígono	5452302UF5655S	130	130
10	Polígono	5452302UF5655S	88	88
11	Polígono	5452303UF5655S	284	284
12	Polígono	5452304UF5655S	304	304
13	Polígono	5452305UF5655S	130	130
14	Polígono	5452305UF5655S	115	115
15	Polígono	5452306UF5655S	126	126
16	Polígono	5452306UF5655S	15	15
17	Polígono	5452307UF5655S	0	0
18	Polígono	5452307UF5655S	51	51
19	Polígono	5452308UF5655S	136	136
20	Polígono	5452308UF5655S	119	119
21	Polígono	5452309UF5655S	120	120
22	Polígono	5452309UF5655S	110	110
23	Polígono	5452310UF5655S	125	125
24	Polígono	5452311UF5655S	104	104
25	Polígono	5452311UF5655S	139	139
26	Polígono	5452311UF5655S	123	123
27	Polígono	5452312UF5655S	130	130
28	Polígono	5452312UF5655S	106	106
29	Polígono	5452325UF5655S	110	110
30	Polígono	5452314UF5655S	109	109
31	Polígono	5452314UF5655S	210	210
32	Polígono	5452314UF5655S	172	172
33	Polígono	5452315UF5655S	201	201
34	Polígono	4848902	326	326
35	Polígono	4848902	151	151
36	Polígono	4848902	33	33
37	Polígono	4848902	26	26
38	Polígono	4848902	22	22
39	Polígono	4848902	12	12
40	Polígono	5554119UF5655S	249	249
41	Polígono	5554119UF5655S	19	19
42	Polígono	5554118UF5655S	296	296
43	Polígono	5554117UF5655S	296	296
44	Polígono	5554116UF5655S	114	114
45	Polígono	5554116UF5655S	111	111
46	Polígono	5554115UF5655S	100	100
47	Polígono	5554115UF5655S	23	23
48	Polígono	5554120UF5655S	67	67
49	Polígono	5554120UF5655S	50	50
50	Polígono	5554121UF5655S	59	59
51	Polígono	5554121UF5655S	12	12
52	Polígono	5554109UF5655S	87	87
53	Polígono	5554109UF5655S	39	39
54	Polígono	5554111UF5655S	78	78
55	Polígono	5554111UF5655S	26	26
56	Polígono	5554112UF5655S	0	0
57	Polígono	5554112UF5655S	20	20
58	Polígono	5554112UF5655S	9	9
59	Polígono	5554112UF5655S	47	47
60	Polígono	5554112UF5655S	91	91
61	Polígono	5554112UF5655S	13	13
62	Polígono		6457	6457

Ilustración 119. Tabla 'constru+pixeles\_validos\_FID'

En la Ilustración 119 se muestra la suma de píxeles asignada a cada una de esas referencias, y el área total de esos píxeles, calculado multiplicando el número de píxeles por  $1 \text{ m}^2$ . La columna denomina 'AREA 1' muestra entonces la superficie disponible que cuenta con buenas condiciones para instalación de placas solares en cada uno. Si sumamos el área total, representado en la última fila, obtenemos un valor de **6457  $\text{m}^2$** , valor menor al obtenido anteriormente.

Esta diferencia es debida a que en este caso se han tomado los coincidentes con la capa de cubiertas a la que se le aplicó un margen de zonas de paso, antes se han tomado los píxeles coincidentes con las naves completas, aunque también con zonas de paso, pero sin hacer distinción de paños.

En la Ilustración 120 se puede observar la capa de naves con zonas de paso (en color rosa, situada abajo) y la capa de cubiertas o paños con zonas de paso (en color azul, situada encima), se ve entonces la diferencia de áreas al realizar esta distinción.

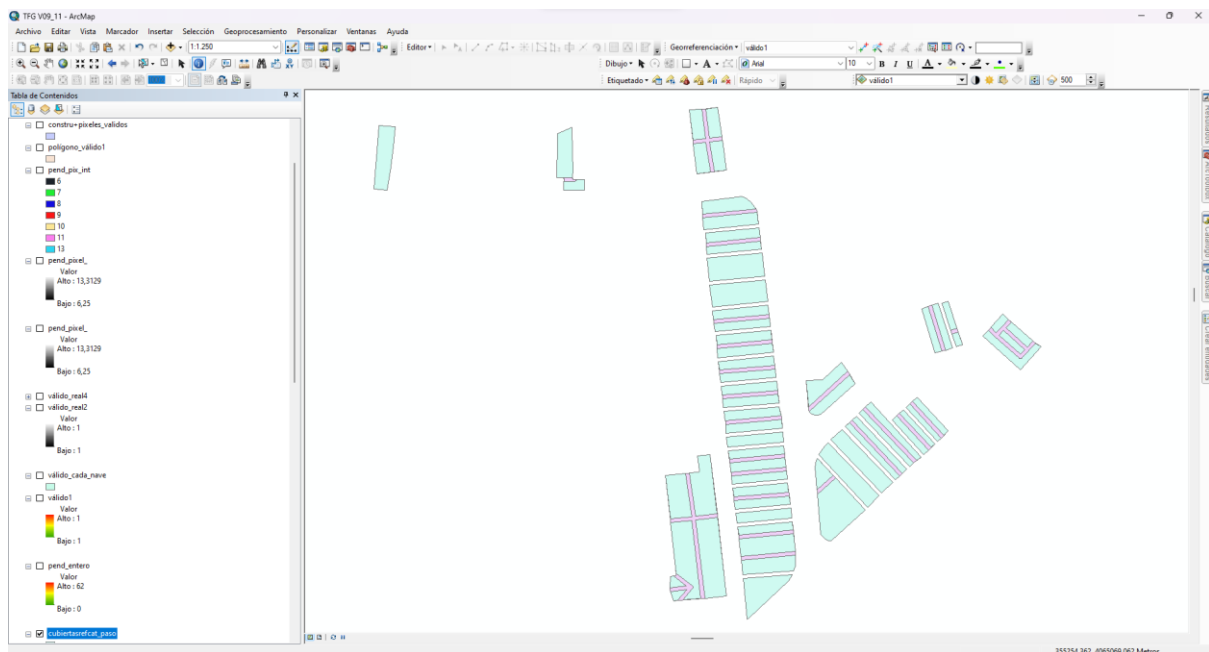


Ilustración 120. Mapa paños y naves sin zonas de paso

## 10. Resultados y análisis de resultados

### 10.1 Métodos de cálculo de influencia de la pendiente

Los píxeles que representan las capas catastrales y que se han utilizado para calcular el área final disponible son representaciones en proyección horizontal del terreno, es decir, en esas pequeñas porciones de terreno no se tiene en cuenta la pendiente. Por ello, y como segundo objetivo de este trabajo de fin de grado, se va a evaluar el error que se comete al no tener en cuenta esta inclinación o pendiente y como de significativo es.

Se van a realizar diferentes comparaciones para estudiar cómo influye la decisión de elección de los datos.

- A) Si se toma en cuenta la mediana de la pendiente de cada nave
- B) Si se toma en cuenta la mediana de la pendiente de cada paño
- C) Si se toma en cuenta la mediana de la pendiente de todo el polígono
- D) Si se toma en cuenta la pendiente independiente de cada píxel

#### A) Método 1: mediana de la pendiente de cada nave

Con la misma herramienta que se ha estado utilizando hasta ahora de 'Estadísticas zonales como tabla', se obtienen datos relativos al ráster de pendientes según la nave, según referencia catastral. Se obtienen datos de valor mínimo, máximo, rango, media, desviación estándar, suma, valores únicos, mayoría, minoría y mediana. De todos estos valores el valor de la mediana será el usado para los procesos de cálculo, ya que es el valor estadístico más representativo cuando se tiene un conjunto de datos con valores muy dispares. (Eafit, 1995)

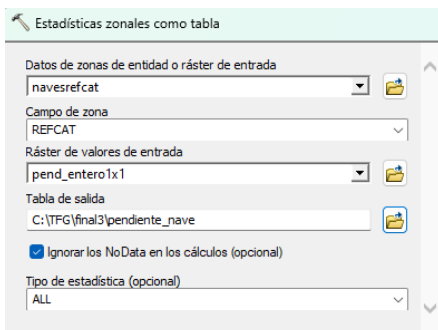


Ilustración 122. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Rowid	REFCAT	ZONE-CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN	
1	4848901UF5645S		1	347	347	0	43	9,458213	11,536203	3282	21	4	19	4	
2	4848902		2	1171	1171	1	30	29	14,16567	4,796442	16588	25	15	30	15
3	5452301UF5655S		3	376	376	0	18	18	8,851064	3,681343	3328	16	11	6	9
4	5452302UF5655S		4	338	338	1	18	17	6,588757	3,312982	2227	14	8	17	7
5	5452303UF5655S		5	354	354	2	22	20	10,624294	3,112319	3761	16	11	17	11
6	5452304UF5655S		6	351	351	2	21	19	12,065527	3,055746	4235	15	13	2	13
7	5452305UF5655S		7	365	365	1	21	20	5,89589	3,12745	2152	12	6	21	6
8	5452306UF5655S		8	268	268	2	26	24	6,977612	3,874845	1870	12	9	11	7
9	5452307UF5655S		9	43	43	0	13	13	5,348837	3,753347	230	8	4	2	4
10	5452308UF5655S		10	372	372	0	16	16	7,943548	3,487233	2955	16	10	0	8
11	5452309UF5655S		11	357	357	2	17	15	4,862745	2,351634	1736	13	4	12	4
12	5452310UF5655S		12	199	199	1	17	16	8,929648	4,47832	1777	17	13	17	10
13	5452311UF5655S		13	542	542	1	21	20	7,271218	4,236359	3941	17	4	1	6
14	5452312UF5655S		14	335	335	3	17	14	7,952239	2,287693	2664	14	7	15	8
15	5452314UF5655S		15	688	688	2	16	14	8,447674	3,177436	5812	13	10	16	9
16	5452315UF5655S		16	279	279	1	11	10	4,146953	2,020482	1157	10	3	9	4
17	5452325UF5655S		17	160	160	4	17	13	10,2125	3,324883	1634	11	8	10	10
18	5554104UF5655S		18	458	458	0	62	62	14,310044	11,263417	6554	26	8	1	12
19	5554109UF5655S		19	259	259	2	36	34	8,015444	6,772058	2076	17	4	10	6
20	5554111UF5655S		20	257	257	0	28	28	12,727626	7,79677	3271	26	10	17	10
21	5554112UF5655S		21	380	380	0	42	42	19,497368	11,402783	7409	35	36	0	18
22	5554115UF5655S		22	353	353	0	49	49	13,730878	10,778931	4847	30	10	0	11
23	5554116UF5655S		23	377	377	0	11	11	4,397878	2,721522	1658	12	5	9	5
24	5554117UF5655S		24	387	387	0	21	21	6,183463	2,963156	2393	12	6	21	6
25	5554118UF5655S		25	375	375	0	15	15	6,853333	3,488241	2570	16	9	14	8
26	5554119UF5655S		26	373	373	0	28	28	3,308311	4,538056	1234	15	1	15	2
27	5554120UF5655S		27	202	202	0	34	34	5,811881	6,537346	1174	13	3	9	4
28	5554121UF5655S		28	138	138	0	22	22	8,115108	6,114118	1128	15	7	9	7

Ilustración 121. Cálculos estadísticos pendiente según naves

Se relaciona esta tabla con la tabla 'constru+pixeles\_validos' donde se había calculado el área total por referencia catastral. Se eliminan los datos de estadística no necesarios, y se agregan dos campos, uno de 'AREA REAL' y otro de 'AUMENTO'. La columna de 'AREA REAL' es el cálculo del área real de la nave habiendo añadido la pendiente, y la columna de aumento es la variación en tanto por ciento que se ha visto variada el área inicial.

El valor de la mediana, en grados, se pasa a radianes, ya que es lo que utiliza el programa.

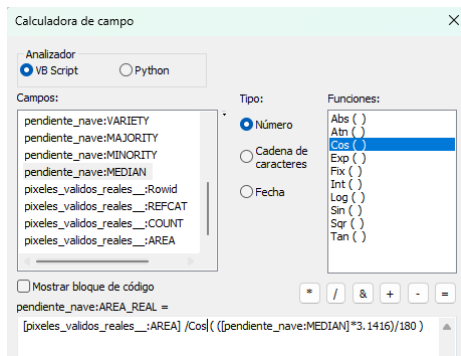


Ilustración 124. Cálculo columna 'AREA REAL'

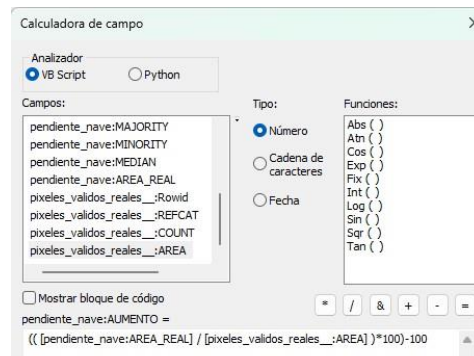


Ilustración 123. Cálculo columna 'AUMENTO'

Rowid	REFCAT	Rowid	REFCAT *	COUNT	AREA	MEDIAN	AREA REAL	AUMENTO (%)
1	4848901UF5645S	1	4848901UF56	243	243	4	243,5934	0,2441909
2	4848902	19	4848902	729	729	15	754,7164	3,527631
3	5452301UF5655S	3	5452301UF56	358	358	9	362,4625	1,246515
4	5452302UF5655S	4	5452302UF56	269	269	7	271,0201	0,750982
5	5452303UF5655S	5	5452303UF56	284	284	11	289,3156	1,871673
6	5452304UF5655S	6	5452304UF56	304	304	13	311,9965	2,630424
7	5452305UF5655S	7	5452305UF56	299	299	6	300,647	0,550827
8	5452306UF5655S	8	5452306UF56	171	171	7	172,2842	0,7509823
9	5452307UF5655S	20	5452307UF56	51	51	4	51,12454	0,244193
10	5452308UF5655S	21	5452308UF56	309	309	8	312,0367	0,9827648
11	5452309UF5655S	22	5452309UF56	280	280	4	280,6837	0,2441951
12	5452310UF5655S	23	5452310UF56	125	125	10	126,9283	1,54267
13	5452311UF5655S	24	5452311UF56	468	468	6	470,5779	0,5508292
14	5452312UF5655S	25	5452312UF56	288	288	8	290,8304	0,9827614
15	5452314UF5655S	26	5452314UF56	582	582	9	589,2548	1,246522
16	5452315UF5655S	27	5452315UF56	201	201	4	201,4908	0,2441938
17	5452325UF5655S	28	5452325UF56	110	110	10	111,6969	1,54267
18	5554104UF5655S	2	5554104UF56	362	362	12	370,0873	2,234072
19	5554109UF5655S	11	5554109UF56	165	165	6	165,9089	0,550833
20	5554111UF5655S	9	5554111UF56	134	134	10	136,0672	1,542664
21	5554112UF5655S	10	5554112UF56	260	260	18	273,3802	5,14625
22	5554115UF5655S	12	5554115UF56	153	153	11	155,8637	1,871675
23	5554116UF5655S	16	5554116UF56	297	297	5	298,1345	0,3819835
24	5554117UF5655S	17	5554117UF56	296	296	6	297,6305	0,550832
25	5554118UF5655S	18	5554118UF56	296	296	8	298,909	0,9827588
26	5554119UF5655S	15	5554119UF56	271	271	2	271,1652	6,095633E-02
27	5554120UF5655S	13	5554120UF56	158	158	4	158,3858	0,2441889
28	5554121UF5655S	14	5554121UF56	106	106	7	106,796	0,7509843
29	1	29	1	0	7569	0	7672,99	1,37

Ilustración 125. Valor real con pendiente de cada nave

Se puede observar como el mayor aumento y el más significativo es de un 5.15% respecto al área calculada en proyección horizontal. Variando el área total de  $7569 m^2$  a  $7672.99 m^2$ , una diferencia de  $103.99 m^2$ , un **1,37%** de aumento.

## B) Método 2: Mediana de la pendiente de cada paño

De igual modo, se obtienen ahora los datos del ráster de pendientes organizados según la cubierta o el paño y ordenados por el parámetro 'FID'

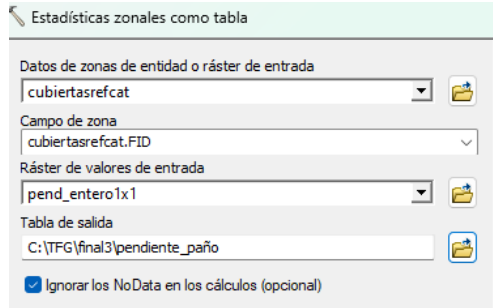


Ilustración 126. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	0	154	154	0	43	43	12.246753	15.09249	1886	15	0	26	4
2	1	53	53	0	22	22	11.056604	8.208176	586	9	0	7	16
3	2	140	140	2	28	26	5.785714	5.548212	810	9	4	17	4
4	3	133	133	2	56	54	19.894737	13.405903	2646	18	14	56	16
5	4	102	102	2	62	60	15.558824	14.499205	1587	15	8	2	10
6	5	144	144	0	18	18	11.083333	4.571196	1596	14	12	1	12
7	6	79	79	0	20	20	9.177215	4.854228	725	10	8	0	8
8	7	160	160	0	16	16	8.1625	3.411172	1306	13	9	3	9
9	8	216	216	2	18	16	9.361111	3.789504	2022	13	11	4	11
10	9	181	181	1	18	17	6.955801	3.18807	1259	11	8	2	8
11	10	157	157	1	17	16	6.165605	3.402598	968	12	8	17	6
12	11	354	354	2	22	20	10.624294	3.112319	3761	16	11	17	11
13	12	351	351	2	21	19	12.065527	3.055746	4235	15	13	2	13
14	13	191	191	1	21	20	5.649215	2.984688	1079	10	6	1	6
15	14	174	174	1	17	16	6.166667	3.255558	1073	11	10	1	5
16	15	197	197	2	26	24	7.380711	4.185088	1454	12	9	11	7
17	16	71	71	2	11	9	5.859155	2.524783	416	9	7	4	7
18	17	4	4	8	8	0	0	0	32	1	8	8	8
19	18	39	39	0	13	13	5.076923	3.838968	196	7	4	2	4
20	19	193	193	0	16	16	8.129534	3.481827	1569	15	10	0	9
21	20	179	179	1	14	13	7.743017	3.48194	1386	14	7	1	7
22	21	178	178	2	8	6	4.589888	1.527026	817	7	4	8	4
23	22	179	179	2	17	15	5.134078	2.926265	919	13	3	12	4
24	23	199	199	1	17	16	8.929648	4.47832	1777	17	13	17	10
25	24	167	167	1	11	10	6.904192	2.707792	1153	11	9	3	8
26	25	192	192	2	9	7	4.182292	1.633981	803	7	3	9	4
27	26	183	183	3	21	18	10.846995	4.554297	1985	15	13	4	10
28	27	190	190	5	17	12	8.557895	2.409262	1626	12	8	15	8
29	28	145	145	3	11	8	7.158621	1.837074	1038	8	7	4	7
30	29	160	160	4	17	13	10.2125	3.324883	1634	11	8	10	10
31	30	164	164	3	11	8	6.95122	2.329045	1140	9	6	3	6
32	31	279	279	3	16	13	9.964158	2.7667	2780	11	10	5	10
33	32	245	245	2	13	11	7.722449	3.370415	1892	12	11	5	9
34	33	279	279	1	11	10	4.146953	2.020482	1157	10	3	9	4
35	34	511	511	1	19	18	12.737769	4.814537	6509	18	16	7	15
36	35	414	414	5	22	17	15.586957	2.521583	6453	14	15	11	15
37	36	62	62	3	15	12	9.145161	3.859829	567	12	3	6	9
38	37	54	54	3	16	13	10.555556	3.083208	570	9	11	9	11
39	38	67	67	3	28	25	18	5.797581	1206	11	17	19	17
40	39	63	63	14	30	16	20.365079	4.40527	1283	7	20	18	21
41	40	336	336	0	28	28	2.9375	4.368341	987	13	1	11	2
42	41	38	38	1	13	12	6.894737	4.789184	262	7	2	9	6
43	42	374	374	0	15	15	6.831551	3.467337	2555	16	9	14	8
44	43	387	387	0	21	21	6.183463	2.963156	2393	12	6	21	6
45	44	188	188	0	8	8	4.388298	2.320875	825	9	2	0	5
46	45	189	189	0	11	11	4.407407	3.068555	833	12	5	7	5
47	46	180	180	1	24	23	7.2	4.107446	1296	13	9	18	8
48	47	173	173	0	49	49	20.526012	11.356324	3551	28	16	13	19
49	48	107	107	0	13	13	4.607477	3.598434	493	10	3	13	3
50	49	95	95	2	34	32	7.168421	8.533097	681	9	3	5	4
51	50	97	97	0	14	14	5.061856	3.48728	491	12	6	9	6
52	51	42	42	7	22	15	15.166667	4.937305	637	8	14	7	14
53	52	153	153	2	36	34	8.20915	8.498099	1256	13	4	6	4
54	53	106	106	2	13	11	7.735849	2.772173	820	11	6	2	7
55	54	128	128	2	14	12	7.726563	3.094135	989	11	10	14	8
56	55	129	129	0	28	28	17.689922	7.884632	2282	21	27	5	19
57	56	37	37	5	21	16	14.432432	4.705032	534	7	16	12	16
58	57	39	39	0	17	17	10.461538	4.919069	408	8	11	0	11
59	58	51	51	9	36	27	22.72549	9.167458	1159	11	9	10	26
60	59	90	90	1	42	41	16.833333	13.057352	1515	19	1	11	11
61	60	148	148	2	41	39	24.493243	10.999077	3625	19	36	2	25
62	61	15	15	9	14	5	11.2	2.315167	168	3	9	10	10

Ilustración 127. Cálculos estadísticos de pendiente según paños

De nuevo, se relaciona esta tabla con la tabla 'constru+pixeles\_validos\_FID' donde se había calculado el área total por FID. Se eliminan los datos de estadística no necesarios, y se agregan dos campos, uno de 'AREA REAL' y otro de 'AUMENTO'.

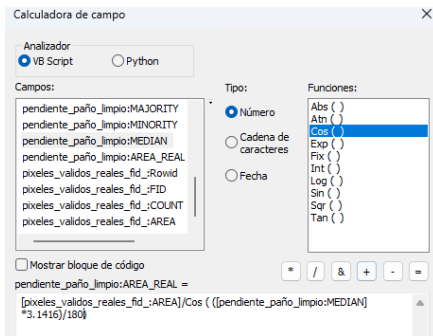


Ilustración 129. Cálculo columna 'AREA REAL'

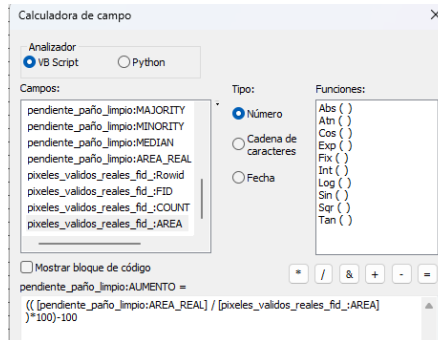


Ilustración 128. Cálculo columna 'AUMENTO'

Rowid	1	VALUE	MEDIAN	Rowid	FID *	COUNT	AREA	AREA REAL	AUMENTO
1	0	4	1	110	110	2686	0,2441892		
2	1	16	2	26	26	27,04779	4,029963		
3	2	4	3	96	96	96,23442	0,2441883		
4	3	16	4	69	69	71,78068	4,029968		
5	4	10	5	80	80	81,23414	1,542673		
6	5	12	6	94	94	96,10003	2,234073		
7	6	8	7	37	37	37,36362	0,9827588		
8	7	9	8	145	145	146,8074	1,246517		
9	8	11	9	157	157	159,9385	1,87168		
10	9	8	10	130	130	131,2776	0,9827599		
11	10	6	11	88	88	88,48473	0,5508336		
12	11	11	12	284	284	289,3156	1,871673		
13	12	13	13	304	304	311,9965	2,630424		
14	13	6	14	130	130	130,7161	0,5508305		
15	14	5	15	115	115	115,4393	0,3819872		
16	15	7	16	126	126	126,9462	0,7509868		
17	16	7	17	15	15	15,11265	0,7509868		
18	17	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0	0		
19	18	4	18	51	51	51,12454	0,244193		
20	19	9	19	136	136	137,6953	1,24652		
21	20	7	20	119	119	119,8937	0,7509889		
22	21	4	21	120	120	120,293	0,2441915		
23	22	4	22	110	110	110,2686	0,2441892		
24	23	10	23	125	125	126,9283	1,54267		
25	24	8	24	104	104	105,0221	0,9827614		
26	25	4	25	139	139	139,3394	0,2441955		
27	26	10	26	123	123	124,8975	1,54267		
28	27	8	27	130	130	131,2776	0,9827599		
29	28	7	28	106	106	106,796	0,7509843		
30	29	10	29	110	110	111,6969	1,54267		
31	30	6	30	109	109	109,6004	0,5508283		
32	31	10	31	210	210	213,2396	1,542671		
33	32	9	32	172	172	174,144	1,246519		
34	33	4	33	201	201	201,4908	0,2441938		
35	34	15	34	326	326	337,5001	3,527635		
36	35	15	35	151	151	156,3267	3,52764		
37	36	9	36	33	33	33,41135	1,246516		
38	37	11	37	26	26	26,48664	1,871681		
39	38	17	38	22	22	23,00522	4,569201		
40	39	21	39	12	12	12,85374	7,114538		
41	40	2	40	249	249	249,1518	6,095549E-02		
42	41	6	41	19	19	19,10466	0,5508323		
43	42	8	42	296	296	298,909	0,9827588		
44	43	6	43	296	296	297,6305	0,550832		
45	44	5	44	114	114	114,4355	0,381985		
46	45	5	45	111	111	111,424	0,3819852		
47	46	8	46	100	100	100,9828	0,9827652		
48	47	19	47	23	23	24,32528	5,7621		
49	48	3	48	67	67	67,09195	0,137238		
50	49	4	49	50	50	50,1221	0,244194		
51	50	6	50	59	59	59,32499	0,5508294		
52	51	14	51	12	12	12,36736	3,061374		
53	52	4	52	87	87	87,21245	0,2441932		
54	53	7	53	39	39	39,29288	0,7509868		
55	54	8	54	78	78	78,76656	0,9827638		
56	55	19	55	26	26	27,49814	5,762093		
57	56	16	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0	0		
58	57	11	56	57	20	20,37434	1,871681		
59	58	26	57	58	9	10,01342	11,26025		
60	59	11	58	59	47	47,87969	1,871677		
61	60	25	59	60	91	100,4074	10,33785		
62	61	10	60	61	13	13,20055	1,542671		
63	62	0	61	62	0	6457	6548,89	1,42	

Ilustración 130. Valor real con pendiente de cada nave

En este nuevo resumen de resultados se puede observar que sí hay valores más significativos de aumento, superando 4 valores el 5% y dos de ellos superando el 10%. El mayor aumento individual es de un 11,26% respecto al área calculada en proyección horizontal.

Según este método el área total varía de 6457 m<sup>2</sup> a **6548.89 m<sup>2</sup>**, una diferencia de 91.89 m<sup>2</sup>, un **1.42%** de aumento.

### C) Método 3: Mediana de la pendiente de todo el polígono

Se va a realizar ahora el mismo procedimiento de cálculo del ráster de pendiente, pero según los límites del polígono, por lo que los datos que se obtienen son con relación a todas las naves juntas.

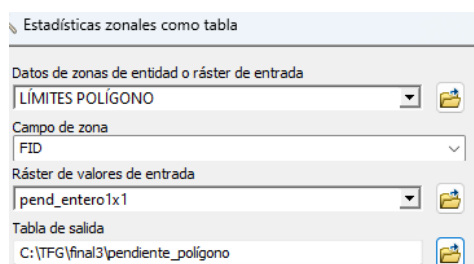


Ilustración 131. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Rowid	FID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	0	10388	10388	0	62	62	9,21573	6,927825	95733	47	6	38	8

Ilustración 132. Cálculo estadísticos pendiente polígono

Se obtiene por tanto, el dato de la mediana de la pendiente de todo el polígono, el cual es 8°. Este valor es aparentemente muy bajo, pero hay que tener en cuenta que algunas de las cubiertas de las naves del polígono industrial son completamente planas, por lo que al tomar la mediana de la pendiente de todo el polígono al completo, estas naves pueden hacer que este valor se vea muy reducido.

Aplicamos este ángulo de inclinación o pendiente a los dos valores totales obtenidos anteriormente, el obtenido según las naves completas y el obtenido según las cubiertas o paños. Se observa entonces que para el caso A, se pasa de 7569 m<sup>2</sup> a **7643,38 m<sup>2</sup>**; y para el caso B se pasa de 6457 m<sup>2</sup> a **6520,46 m<sup>2</sup>**, experimentándose en ambos casos un aumento de un **0.98%** (74,38 m<sup>2</sup> y 63,46 m<sup>2</sup> respectivamente)

Área total polígono según naves (A)	7569 m <sup>2</sup>
Área total polígono según paños (B)	6457 m <sup>2</sup>
Mediana polígono entero	8°
Área real polígono según (A)	7643,38 m <sup>2</sup>
Área real polígono según (B)	6520,46 m <sup>2</sup>
Aumento (%)	0,98

Ilustración 133. Valor real con pendiente de cada pixel

## D) Método 4: Pendiente independiente de cada píxel

Esta última forma de calcular la superficie real se va a hacer teniendo en cuenta por separado el valor de pendiente de cada uno de los píxeles de todo el polígono. Para ello, con ayuda del coseno y sabiendo que el área de cada píxel es de  $1 m^2$ , se le asigna a cada píxel del ráster pendiente, el valor correspondiente de área. Esto se lleva a cabo mediante la herramienta 'Calculadora ráster'

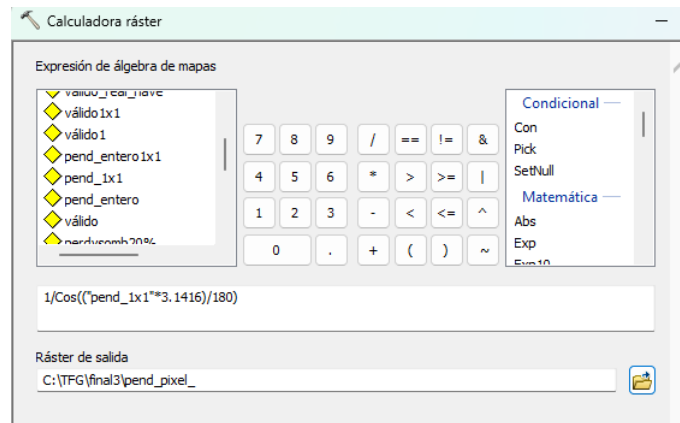


Ilustración 134. Entidades herramienta 'Calculadora ráster'

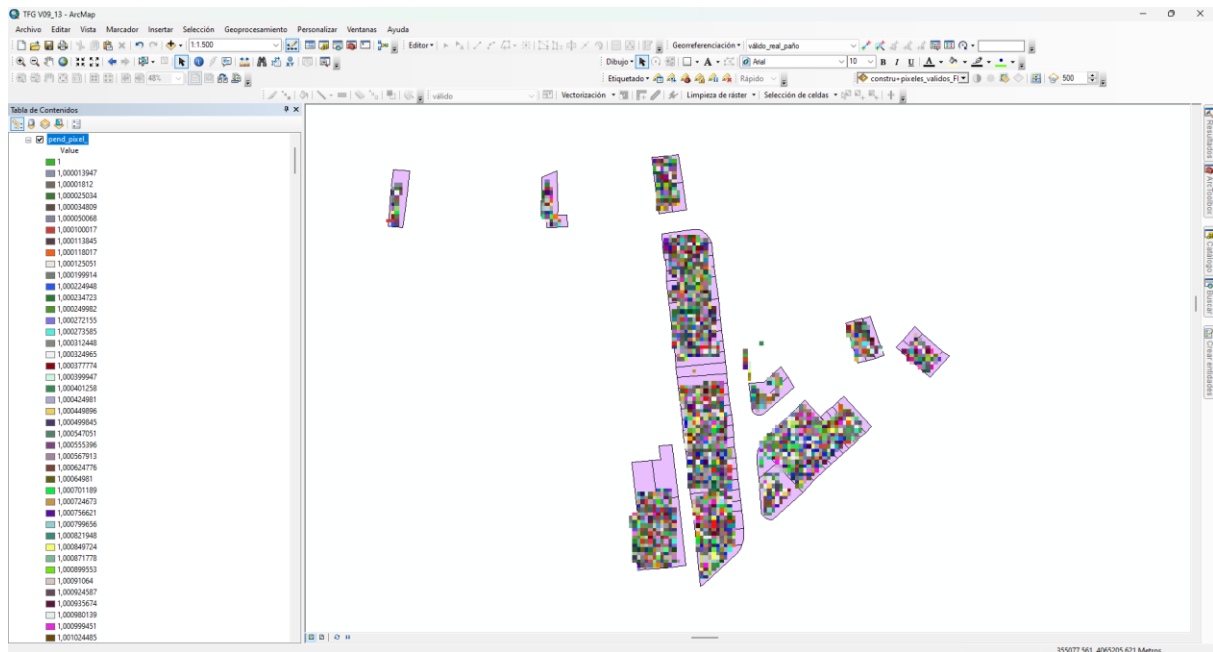


Ilustración 135. Capa ráster área de cada píxel

Se recorta el ráster de la Ilustración 135 para obtener únicamente aquellos que son coincidentes con los píxeles válidos para la instalación de placas solares. Se utiliza la herramienta 'Recortar'.

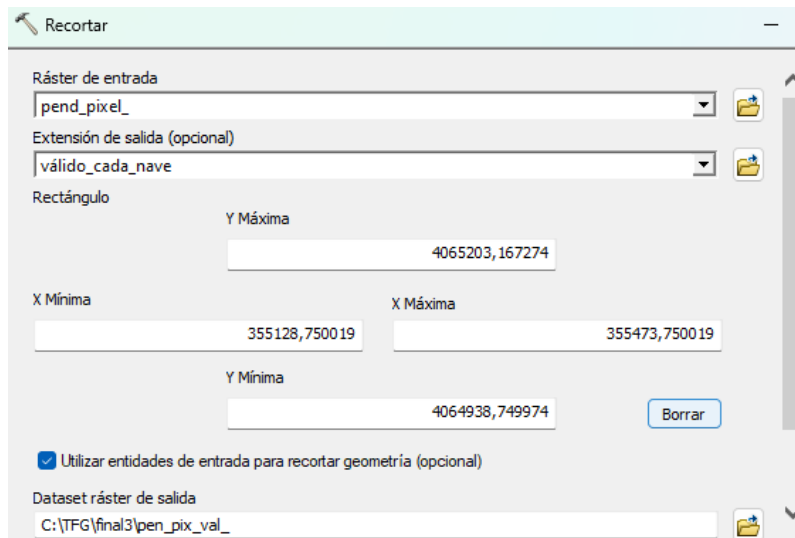


Ilustración 136. Entidades herramienta 'Recortar'

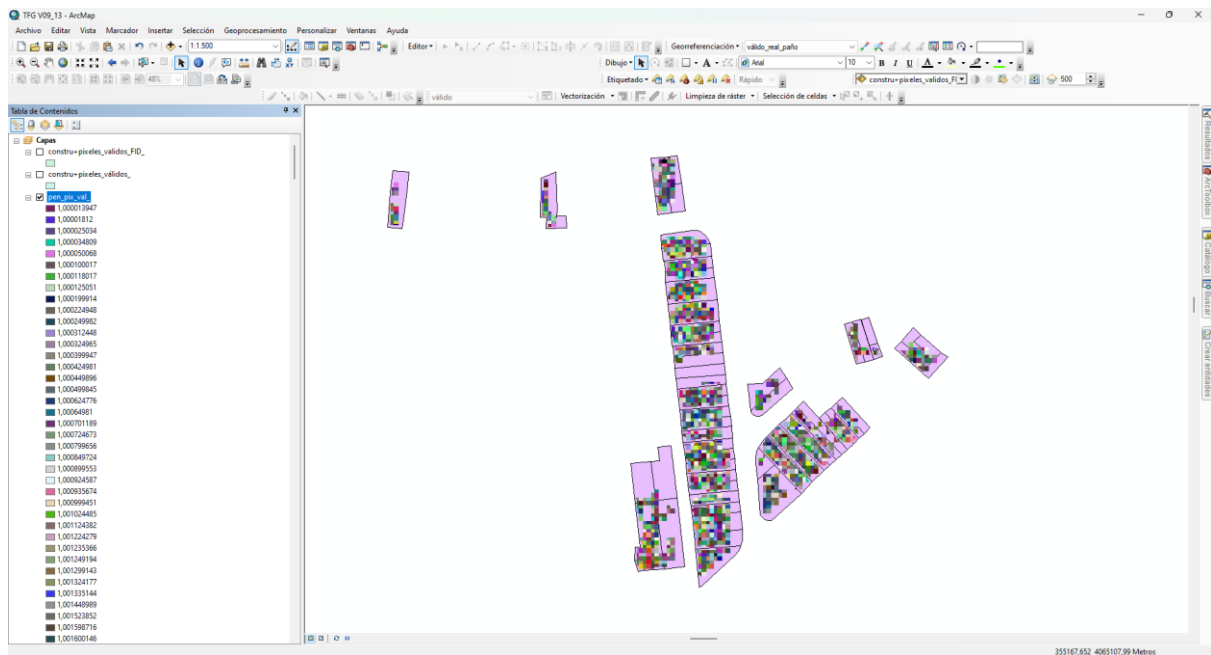


Ilustración 137. Capa ráster de píxeles con área real

Una vez hecho esto, se puede realizar entonces un resumen estadístico por referencia catastral, al igual que se hizo en el método A. Se utiliza de nuevo la herramienta 'Estadísticas zonales como tabla', ordenando por el parámetro 'REFCAT'.

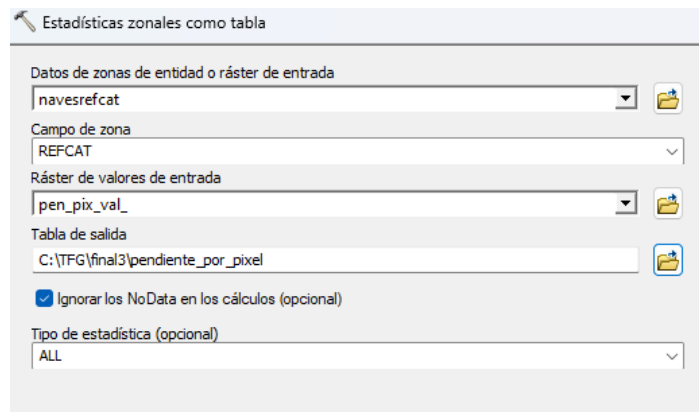


Ilustración 138, Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

Tabla

pendiente\_por\_pixel\_

Rowid	REFCAT	ZONE-CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	4848901UF5645S	1	243	226,998419	1,000014	1,378153	0,378139	1,036965	0,087262	251,9826
19	4848902	19	729	694,933755	1,000312	1,165324	0,165011	1,029648	0,020071	750,6132
3	5452301UF5655S	3	358	330,541557	1,000018	1,053423	0,053405	1,015097	0,010414	363,4048
4	5452302UF5655S	4	269	271,800738	1,00025	1,055486	0,055236	1,008978	0,007659	271,415
5	5452303UF5655S	5	284	260,84906	1,004241	1,030049	0,025808	1,019196	0,005318	289,4518
6	5452304UF5655S	6	304	291,71288	1,003917	1,075779	0,071862	1,027152	0,010828	312,2542
7	5452305UF5655S	7	299	293,704094	1,000225	1,05	0,049775	1,006905	0,005639	301,0647
8	5452306UF5655S	8	171	175,226849	1,0008	1,050167	0,049367	1,010536	0,008964	172,8016
20	5452307UF5655S	20	51	13,938499	1,00005	1,029976	0,029926	1,007889	0,009246	51,40234
21	5452308UF5655S	21	309	302,664558	1,000425	1,040769	0,040344	1,013507	0,008633	313,1736
22	5452309UF5655S	22	280	280,761202	1,000625	1,01225	0,011625	1,00395	0,002292	281,106
23	5452310UF5655S	23	125	120,468459	1,000425	1,045084	0,044659	1,017014	0,011344	127,1268
24	5452311UF5655S	24	468	458,974873	1,000425	1,071845	0,07142	1,0107	0,011912	473,0075
25	5452312UF5655S	25	288	278,769988	1,00211	1,032303	0,030193	1,011087	0,005282	291,1931
26	5452314UF5655S	26	582	569,487261	1,000625	1,030461	0,029836	1,014392	0,008044	590,3762
27	5452315UF5655S	27	201	199,12142	1,0002	1,014027	0,013827	1,003103	0,002767	201,6238
28	5452325UF5655S	28	110	102,547531	1,002447	1,035128	0,032681	1,019426	0,009033	112,1368
2	5554104UF5655S	2	362	346,471271	1,000025	2,145762	1,145737	1,035323	0,071584	374,7868
11	5554109UF5655S	11	165	143,367422	1,000725	1,089873	0,089148	1,011516	0,017471	166,9002
9	5554111UF5655S	9	134	130,42453	1,0004	1,130726	0,130326	1,021467	0,027053	136,8766
10	5554112UF5655S	10	260	226,998419	1,000325	1,352407	0,352082	1,121506	0,106054	291,5916
12	5554115UF5655S	12	153	154,3191	1,000225	1,144449	0,144224	1,017385	0,027936	155,6599
16	5554116UF5655S	16	297	292,708487	1,000025	1,018911	0,018886	1,003768	0,003411	298,119
17	5554117UF5655S	17	296	303,660165	1,000125	1,073418	0,073293	1,009322	0,00843	298,7592
18	5554118UF5655S	18	296	294,699701	1,000035	1,022864	0,022829	1,010162	0,006108	299,0079
15	5554119UF5655S	15	271	265,827095	1,000125	1,135177	0,135052	1,004857	0,018397	272,3163
13	5554120UF5655S	13	158	149,341065	1,000125	1,215495	0,21537	1,009569	0,030053	159,5118
14	5554121UF5655S	14	106	93,587067	1,000118	1,065449	0,065331	1,012039	0,015715	107,2762

Ilustración 139. Cálculos estadísticos área de cada nave

Como con anterioridad a cada píxel se le había asignado su valor verdadero de área, en este caso la columna 'SUM' es la que muestra el valor real de cada referencia catastral o nave. Se procede igualmente a relacionar esta tabla con el área calculada en proyección horizontal para ver la variación. Se cambia el nombre de 'SUM' a 'AREA REAL'

Se calcula también la variación que ha sufrido esta nueva área real respecto al área en proyección horizontal.

Rowid	REFCAT	COUN	AREA REA	REFCAT 1	COUNT	AREA	AUMENT
29	1	0	7714,94	1	7569	7569	1,928127
1	4848901UF5645S	243	251,9826	4848901UF5645S	243	243	3,696545
19	4848902	729	750,6132	4848902	729	729	2,964768
3	5452301UF5655S	358	363,4048	5452301UF5655S	358	358	1,509734
4	5452302UF5655S	269	271,415	5452302UF5655S	269	269	0,897784
5	5452303UF5655S	284	289,4518	5452303UF5655S	284	284	1,919631
6	5452304UF5655S	304	312,2542	5452304UF5655S	304	304	2,715211
7	5452305UF5655S	299	301,0647	5452305UF5655S	299	299	0,690524
8	5452306UF5655S	171	172,8016	5452306UF5655S	171	171	1,053579
20	5452307UF5655S	51	51,40234	5452307UF5655S	51	51	0,788909
21	5452308UF5655S	309	313,1736	5452308UF5655S	309	309	1,350684
22	5452309UF5655S	280	281,106	5452309UF5655S	280	280	0,394995
23	5452310UF5655S	125	127,1268	5452310UF5655S	125	125	1,701416
24	5452311UF5655S	468	473,0075	5452311UF5655S	468	468	1,069974
25	5452312UF5655S	288	291,1931	5452312UF5655S	288	288	1,108731
26	5452314UF5655S	582	590,3762	5452314UF5655S	582	582	1,439213
27	5452315UF5655S	201	201,6238	5452315UF5655S	201	201	0,310346
28	5452325UF5655S	110	112,1368	5452325UF5655S	110	110	1,94259
2	5554104UF5655S	362	374,7868	5554104UF5655S	362	362	3,532275
11	5554109UF5655S	165	166,9002	5554109UF5655S	165	165	1,151632
9	5554111UF5655S	134	136,8766	5554111UF5655S	134	134	2,146695
10	5554112UF5655S	260	291,5916	5554112UF5655S	260	260	12,15061
12	5554115UF5655S	153	155,6599	5554115UF5655S	153	153	1,738465
16	5554116UF5655S	297	298,119	5554116UF5655S	297	297	0,376753
17	5554117UF5655S	296	298,7592	5554117UF5655S	296	296	0,932168
18	5554118UF5655S	296	299,0079	5554118UF5655S	296	296	1,016173
15	5554119UF5655S	271	272,3163	5554119UF5655S	271	271	0,485736
13	5554120UF5655S	158	159,5118	5554120UF5655S	158	158	0,956861
14	5554121UF5655S	106	107,2762	5554121UF5655S	106	106	1,203918

Ilustración 140. Valor real con pendiente de cada píxel.

El área real obtenida con este procedimiento es entonces de **7714,94 m<sup>2</sup>**, una diferencia respecto al área horizontal de 145,94 m<sup>2</sup>, un aumento en un **1.93%**. Esta variación total es la mayor de todas las variaciones analizadas. Además destaca un valor de variación individual el cual supera el 12.15% de aumento.

## 10.2 Análisis de resultados

Se han calculado en total siete áreas diferentes según las distintas consideraciones que se han tomado. A continuación, se analizan los resultados obtenidos:

- En primer lugar, se han calculado dos áreas en proyección horizontal. La primera área se ha calculado teniendo en cuenta la superficie de cada una de las naves por separado (habiendo quitado las zonas de paso), lo que ha resultado en un total de **7569 m<sup>2</sup>**. La segunda, teniendo en cuenta cada uno de los paños de cada nave y también habiendo quitado las zonas de paso, ha resultado en **6457 m<sup>2</sup>**. Hay que tener en cuenta que todo lo que se ha calculado respecto a las cubiertas cuenta con un área

menor debido a que se eliminan más zonas al haber un mayor número de zonas de paso.

- Posteriormente se han iniciado los cálculos teniendo en cuenta la pendiente. Primero se ha calculado el área real a partir de la mediana de los datos de pendiente de cada una de las naves. El resultado obtenido es de **7672.99 m<sup>2</sup>**, lo cual supone un aumento, respecto al área real en proyección horizontal de 7569 m<sup>2</sup> de un **1.37%**.
- En segundo lugar, se ha calculado el área real a partir de la mediana de los datos de pendiente de cada uno de los paños. El resultado obtenido es de **6548.89 m<sup>2</sup>**, un aumento de **1.42%** respecto al área en proyección horizontal de 6457 m<sup>2</sup>.
- La quinta y la sexta superficie calculadas son las más rápidas y sencillas de obtener, pues se obtienen mediante la mediana de los datos de pendiente de todo el polígono industrial completo. Aplicando la pendiente global al área en proyección horizontal de las naves (7569 m<sup>2</sup>) se obtiene un área real de **7643,38 m<sup>2</sup>**, aumento del **0.98%**. Aplicando luego la pendiente global al área en proyección horizontal de los paños (6457 m<sup>2</sup>), se obtiene un área real de **6520.46 m<sup>2</sup>**, un aumento igual del **0.98%**.
- Por último, se ha calculado el área de cada píxel de manera independiente según su pendiente, y se hace un resumen por referencia catastral, es decir, por cada nave de manera independiente. Se calcula un área real de **7714.94 m<sup>2</sup>**, un aumento del **1.93%** respecto a la primera área obtenida, el área en proyección horizontal de 7569 m<sup>2</sup>.

Se han expresado todas las variaciones entre área en proyección horizontal y el área según la pendiente, lo que ha sido denominado área real, tanto en número como en porcentaje, para poder así visualizar de manera sencilla la variación que se ha producido.

Teniendo en cuenta la mediana de los datos de la pendiente de las naves primero y posteriormente de los paños (métodos 1 y 2 respectivamente) ambas proyecciones horizontales sufren un aumento de un 1.37% y un 1.42% respectivamente. Con la mediana de los datos de todo el polígono, método 3, se obtiene un aumento de ambas proyecciones de un 0.98%.

Se puede observar entonces que el dato más dispar, es el obtenido por el método 4, utilizando el valor real de pendiente de cada píxel, viéndose el área en proyección horizontal aumentada en un 1.93%. Es de esperar este resultado, ya que en este método no se produce ninguna simplificación o pérdida de datos, si no que se toma cada valor de manera independiente y se suman.

De todos los posibles métodos antes mencionados, se va a considerar entonces como más exacto aquel que toma como valor de referencia la mediana de la pendiente de cada paño de manera individual (método 2), ya que es donde más se respetan las zonas de paso entre paños, zonas en las que no se puede llevar a cabo la instalación de módulos fotovoltaicos. Por tanto, será mejor este método que el que toma la mediana de los valores de la pendiente de cada nave industrial (método 1). Además, es donde mayor variación individual se ha producido, un 11.26%, lo que muestra que si esto no se tiene en cuenta se puede perder bastante información. El método 3 es el más sencillo y rápido de obtener, pues es la aplicación de un único valor de la mediana de la pendiente de todo el polígono, pero esto hace que se produzca una simplificación de datos, por ello no se ha considerado como el mejor proceso. El método 4 toma la inclinación de cada píxel de forma individual, por lo que se pueden estar incluyendo valores atípicos en el cómputo, los cuales pueden distorsionar en gran medida el valor de área real. Por todo ello,

En conclusión, y con todas estas consideraciones en cuenta, el área final obtenida según el método 2 será considerado como el valor más próximo a la realidad (**6548,89 m<sup>2</sup>**), en el cual se produce una variación de área de **91.89m<sup>2</sup>**, un aumento de **1.42%** respecto de la proyección horizontal.

Se podría pensar que este dato no es realmente muy significativo y que se debería optar por simplemente trabajar con la proyección horizontal, sin embargo, hay que tener en cuenta que el polígono que ha sido objeto de este estudio no es de muy grandes dimensiones y tampoco cuenta con paños de cubiertas muy inclinados, por tanto esta variación en otra zona de estudio puede que sí sea mucho más necesaria y representativa.

## 11. Cálculo del potencial solar

### 11.1 Potencia instalada

Tras las modificaciones introducidas por el Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, el artículo 3 del Real Decreto 413/2014 define la potencia instalada de una instalación fotovoltaica como:

*“La potencia instalada se corresponderá con la potencia activa máxima que puede alcanzar una unidad de producción y vendrá determinada por la potencia menor de las especificadas en la placas de características de los grupos motor, turbina o alternador instalados en serie, o en su caso, cuando la instalación esté configurada por varios motores, turbinas o alternadores en paralelo será la menor de las sumas de las potencias de las placas de características de los motores, turbinas o alternadores que se encuentren en paralelo.*

*En el caso de instalaciones fotovoltaicas, la potencia instalada será la menor de entre las dos siguientes:*

- *la suma de las potencias máximas unitarias de los módulos fotovoltaicos que configuran dicha instalación, medidas en condiciones estándar según la norma UNE correspondiente.*
- *la potencia máxima del inversor o, en su caso, la suma de las potencias de los inversores que configuran dicha instalación.”* (BOE-A-2020-17278 Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica., s.f.)

Se va a calcular entonces la potencia instalada [kWp] necesaria para un sistema fotovoltaico conectado a red, y por ello y junto con el presente trabajo de fin de grado, la fórmula que se aplica a este proceso es la siguiente (Wiginton, Nguyen y Pearce, 2010):

$$P = I_g \cdot e \cdot A_{PV}$$

Donde:

$P$  = potencia instalada, [kWp]

$I_g$  = irradiación global,  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$

$e$  = eficiencia del módulo fotovoltaico

$A_{PV}$  = área disponible para instalación [ $\text{m}^2$ ]

Los cálculos se van a realizar para módulos de silicio monocristalino, ya que son de los módulos fotovoltaicos más comunes y lo que cuentan con una mayor eficiencia, sobre un 16%.

Para continuar con la comparación de la influencia de la pendiente en el área calculada en proyección horizontal, se procede ahora a calcular la potencia instalada para el área en proyección horizontal definida por cada paño y para el área real calculada con la mediana de la pendiente de los datos de cada paño.

A la tabla que se obtuvo con el cálculo de la superficie horizontal disponible, se le agrega un campo denominado 'POTENCIA INSTALADA' y se hace en la tabla el cálculo aplicando la fórmula anterior.

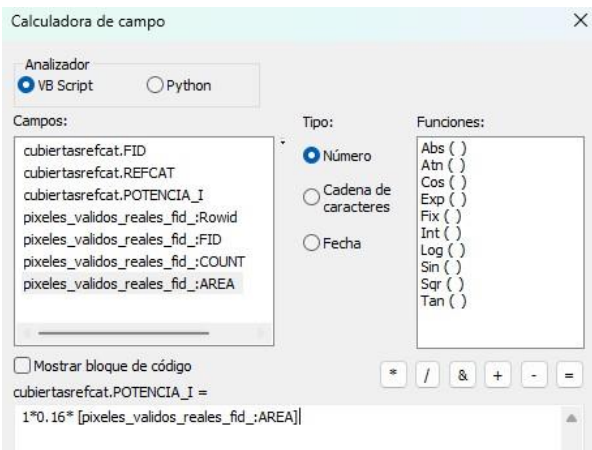


Ilustración 141. Fórmula cálculo potencia instalada

Tabla						
pot_horizontal						
FID	REFCAT	Rowid	FID *	COUNT	AREA	POTENCIA INSTA
0	4848901UF5645S	1	0	110	110	17,6
1	4848901UF5645S	2	1	26	26	4,16
2	4848901UF5645S	3	2	96	96	15,36
3	5554104UF5655S	4	3	69	69	11,04
4	5554104UF5655S	5	4	80	80	12,8
5	5554104UF5655S	6	5	94	94	15,04
6	5554104UF5655S	7	6	37	37	5,92
7	5452301UF5655S	8	7	145	145	23,2
8	5452301UF5655S	9	8	157	157	25,12
9	5452302UF5655S	10	9	130	130	20,8
10	5452302UF5655S	11	10	88	88	14,08
11	5452303UF5655S	12	11	284	284	45,44
12	5452304UF5655S	13	12	304	304	48,64
13	5452305UF5655S	14	13	130	130	20,8
14	5452305UF5655S	15	14	115	115	18,4
15	5452306UF5655S	16	15	126	126	20,16
16	5452306UF5655S	17	16	15	15	2,4
17	5452307UF5655S	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0
18	5452307UF5655S	18	18	51	51	8,16
19	5452308UF5655S	19	19	136	136	21,76
20	5452308UF5655S	20	20	119	119	19,04
21	5452309UF5655S	21	21	120	120	19,2
22	5452309UF5655S	22	22	110	110	17,6
23	5452310UF5655S	23	23	125	125	20
24	5452311UF5655S	24	24	104	104	16,64
25	5452311UF5655S	25	25	139	139	22,24
26	5452311UF5655S	26	26	123	123	19,68
27	5452312UF5655S	27	27	130	130	20,8
28	5452312UF5655S	28	28	106	106	16,96
29	5452325UF5655S	29	29	110	110	17,6
30	5452314UF5655S	30	30	109	109	17,44
31	5452314UF5655S	31	31	210	210	33,6
32	5452314UF5655S	32	32	172	172	27,52
33	5452315UF5655S	33	33	201	201	32,16
34	4848902	34	34	326	326	52,16
35	4848902	35	35	151	151	24,16
36	4848902	36	36	33	33	5,28
37	4848902	37	37	26	26	4,16
38	4848902	38	38	22	22	3,52
39	4848902	39	39	12	12	1,92
40	5554119UF5655S	40	40	249	249	39,84
41	5554119UF5655S	41	41	19	19	3,04
42	5554118UF5655S	42	42	296	296	47,36
43	5554117UF5655S	43	43	296	296	47,36
44	5554116UF5655S	44	44	114	114	18,24
45	5554116UF5655S	45	45	111	111	17,76
46	5554115UF5655S	46	46	100	100	16
47	5554115UF5655S	47	47	23	23	3,68
48	5554120UF5655S	48	48	67	67	10,72
49	5554120UF5655S	49	49	50	50	8
50	5554121UF5655S	50	50	59	59	9,44
51	5554121UF5655S	51	51	12	12	1,92
52	5554109UF5655S	52	52	87	87	13,92
53	5554109UF5655S	53	53	39	39	6,24
54	5554111UF5655S	54	54	78	78	12,48
55	5554111UF5655S	55	55	26	26	4,16
56	5554112UF5655S	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0
57	5554112UF5655S	56	57	20	20	3,2
58	5554112UF5655S	57	58	9	9	1,44
59	5554112UF5655S	58	59	47	47	7,52
60	5554112UF5655S	59	60	91	91	14,56
61	5554112UF5655S	60	61	13	13	2,08
62	1	61	62	0	6457	1033,12

Ilustración 142. Potencia instalada en cada paño

Se muestra entonces en la Ilustración 142, el cálculo de la potencia instalada de cada paño y ordenados a su vez por parcela o referencia catastral. La última fila muestra el valor de potencia instala que correspondería a todo el polígono tomando los 6457 m<sup>2</sup> de superficie horizontal, lo que resultaría en **1033,12 kWp**.

Se lleva a cabo el mismo procedimiento en la tabla donde se había calculado el área real con la mediana de la pendiente de cada paño, y los resultados son los siguientes.

Tabla					
pot_pendiente					
FID	REFCAT	POTENCIA HORIZ	AREA REAL	POTENCIA PENDIENTE	
0	4848901UF5645S	17,6	110,2686	17,643	
1	4848901UF5645S	4,16	27,04779	4,32765	
2	4848901UF5645S	15,36	96,23442	15,3975	
3	5554104UF5655S	11,04	71,78068	11,4849	
4	5554104UF5655S	12,8	81,23414	12,9975	
5	5554104UF5655S	15,04	96,10003	15,376	
6	5554104UF5655S	5,92	37,36362	5,97818	
7	5452301UF5655S	23,2	146,8074	23,4892	
8	5452301UF5655S	25,12	159,9385	25,5902	
9	5452302UF5655S	20,8	131,2776	21,0044	
10	5452302UF5655S	14,08	88,48473	14,1576	
11	5452303UF5655S	45,44	289,3156	46,2905	
12	5452304UF5655S	48,64	311,9965	49,9194	
13	5452305UF5655S	20,8	130,7161	20,9146	
14	5452305UF5655S	18,4	115,4393	18,4703	
15	5452306UF5655S	20,16	126,9462	20,3114	
16	5452306UF5655S	2,4	15,11265	2,41802	
17	5452307UF5655S	0	0	0	
18	5452307UF5655S	8,16	51,12454	8,17993	
19	5452308UF5655S	21,76	137,6953	22,0312	
20	5452308UF5655S	19,04	119,8937	19,183	
21	5452309UF5655S	19,2	120,293	19,2469	
22	5452309UF5655S	17,6	110,2686	17,643	
23	5452310UF5655S	20	126,9283	20,3085	
24	5452311UF5655S	16,64	105,0221	16,8035	
25	5452311UF5655S	22,24	139,3394	22,2943	
26	5452311UF5655S	19,68	124,8975	19,9836	
27	5452312UF5655S	20,8	131,2776	21,0044	
28	5452312UF5655S	16,96	106,796	17,0874	
29	5452325UF5655S	17,6	111,6969	17,8715	
30	5452314UF5655S	17,44	109,6004	17,5361	
31	5452314UF5655S	33,6	213,2396	34,1183	
32	5452314UF5655S	27,52	174,144	27,863	
33	5452315UF5655S	32,16	201,4908	32,2385	
34	4848902	52,16	337,5001	54	
35	4848902	24,16	156,3267	25,0123	
36	4848902	5,28	33,41135	5,34582	
37	4848902	4,16	26,48664	4,23786	
38	4848902	3,52	23,00522	3,68084	
39	4848902	1,92	12,85374	2,0566	
40	5554119UF5655S	39,84	249,1518	39,8643	
41	5554119UF5655S	3,04	19,10466	3,05675	
42	5554118UF5655S	47,36	298,909	47,8254	
43	5554117UF5655S	47,36	297,6305	47,6209	
44	5554116UF5655S	18,24	114,4355	18,3097	
45	5554116UF5655S	17,76	111,424	17,8278	
46	5554115UF5655S	16	100,9828	16,1572	
47	5554115UF5655S	3,68	24,32528	3,89205	
48	5554120UF5655S	10,72	67,09195	10,7347	
49	5554120UF5655S	8	50,1221	8,01954	
50	5554121UF5655S	9,44	59,32499	9,492	
51	5554121UF5655S	1,92	12,36736	1,97878	
52	5554109UF5655S	13,92	87,21245	13,954	
53	5554109UF5655S	6,24	39,29288	6,28686	
54	5554111UF5655S	12,48	78,76656	12,6026	
55	5554111UF5655S	4,16	27,49814	4,3997	
56	5554112UF5655S	0	0	0	
57	5554112UF5655S	3,2	20,37434	3,25989	
58	5554112UF5655S	1,44	10,01342	1,60215	
59	5554112UF5655S	7,52	47,87969	7,66075	
60	5554112UF5655S	14,56	100,4074	16,0652	
61	5554112UF5655S	2,08	13,20055	2,11209	
62	1	1033,12	6548,89	1047,82	

Ilustración 143. Potencia instalada real en cada paño

Se puede observar entonces la potencia instalada en cada paño, ordenados también por referencia catastral así como la potencia instala de todo el polígono al calcular el área real por el método ya mencionado. Se pasa entonces de los 1033.12 kWp de potencia instalada calculados mediante la proyección horizontal a **1047.82 kWp**, un aumento del **1.42%**

## 11.2 Energía

La energía anual total producida [kWh] puede ser calculada como (Wiginton, Nguyen y Pearce, 2010):

$$E = I_{md} \cdot e \cdot A_{pV}$$

Donde:

$E$  = energía anual [kWh]

$I_{md}$  = irradiación media global [kWh/m<sup>2</sup>]

$e$  = eficiencia del módulo fotovoltaico

$A_{pV}$  = área disponible para instalación [m<sup>2</sup>]

Es necesario calcular antes la irradiación solar global, esto se hace con la herramienta denominada 'Radiación solar de áreas', se calcula para los 365 días del año 2022, ya que este intervalo de tiempo fue el decidido para la realización del estudio al inicio del proyecto.

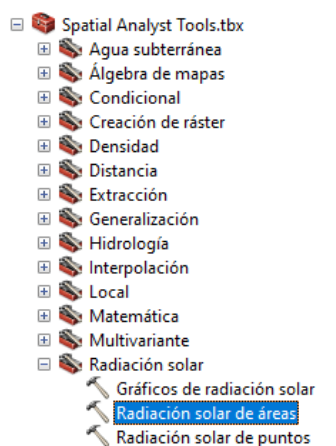


Ilustración 145. Herramienta 'Radiación solar de áreas'

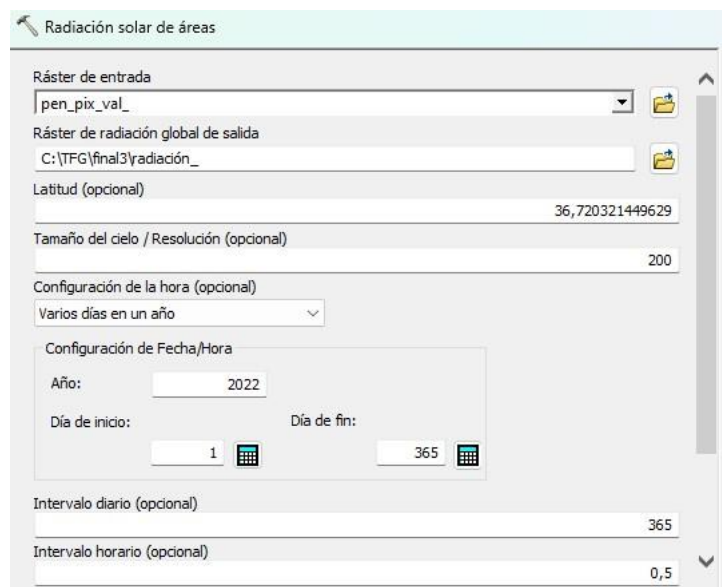


Ilustración 144. Entidades herramienta 'Radiación solar global'

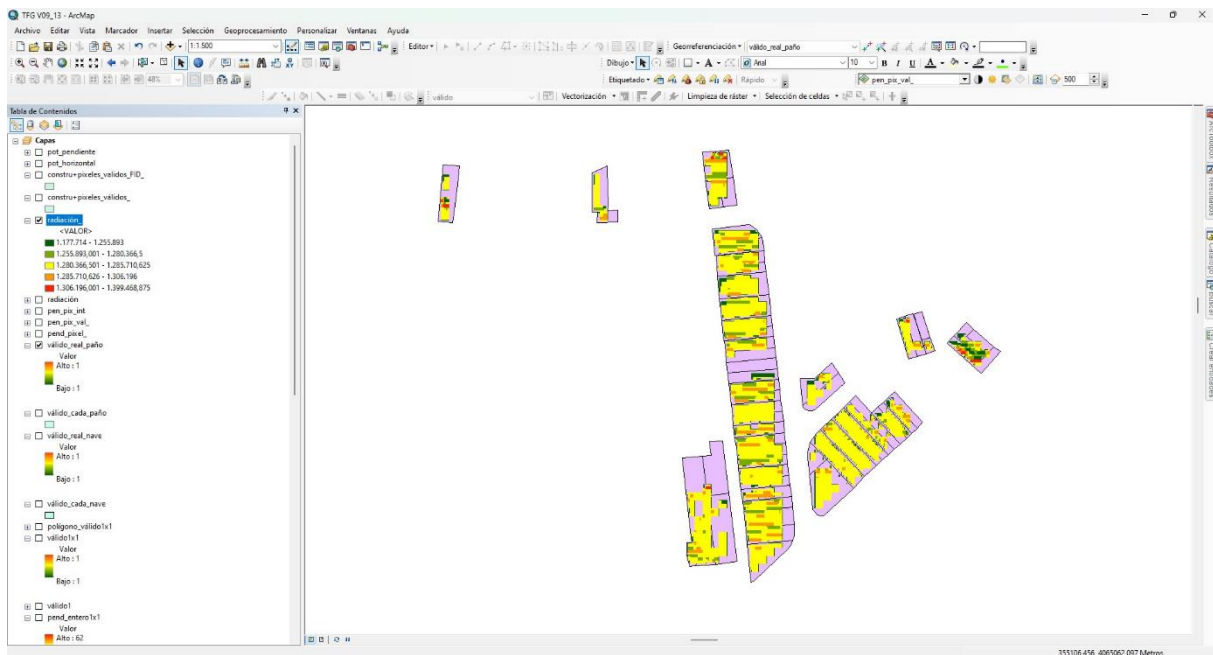


Ilustración 147. Mapa de irradiación solar anual

Se observan valores de radiación solar anuales que oscilan entre los 1177 kWh/m<sup>2</sup> y los 1399 kWh/m<sup>2</sup>.

Con la herramienta 'Estadísticas zonales como tabla' se obtiene para cada paño la media de radiación solar anual. Se ordena por el parámetro FID, para luego, al igual que se hizo antes, añadir estos datos a la tabla donde se calcularon las áreas en proyección horizontal.

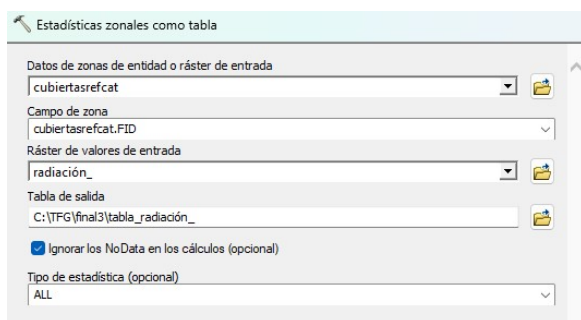


Ilustración 149. Entidades herramienta 'Estadísticas zonales como tabla'

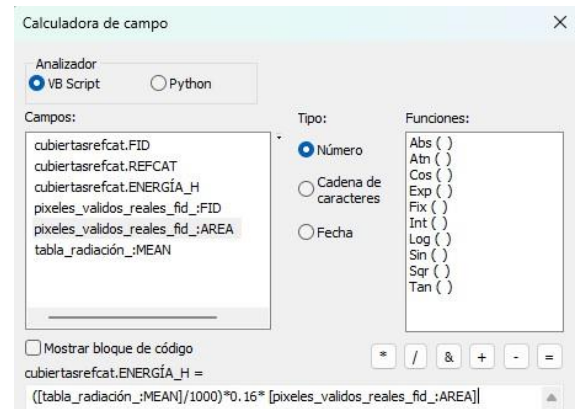


Ilustración 148. Fórmula cálculo energía

El dato medio de radiación se ve en la columna que se ha denominado como 'RADIACIÓN MEDIA'. Se puede proceder entonces a calcular ya la energía del área calculada en proyección horizontal, denominada en la tabla como 'ENERGÍA HORIZONTAL'

Tabla					
energía_horizontal					
FID	REFCAT	FID *	AREA	RADIACIÓN MEDI	ENERGÍA HORIZONTAL
0	4848901UF5645S	0	110	1283970,883838	22597,89
1	4848901UF5645S	1	26	1288321,669355	5359,418
2	4848901UF5645S	2	96	1281458,376276	19683,2
3	5554104UF5655S	3	69	1283685,69802	14171,89
4	5554104UF5655S	4	80	1286853,533602	16471,72
5	5554104UF5655S	5	94	1283875,545139	19309,49
6	5554104UF5655S	6	37	1285523,73913	7610,3
7	5452301UF5655S	7	145	1284107,028523	29791,28
8	5452301UF5655S	8	157	1281599,010246	32193,77
9	5452302UF5655S	9	130	1283692,022727	26700,79
10	5452302UF5655S	10	88	1283018,767857	18064,9
11	5452303UF5655S	11	284	1283198,012405	58308,52
12	5452304UF5655S	12	304	1282573,473214	62384,38
13	5452305UF5655S	13	130	1283451,853758	26695,8
14	5452305UF5655S	14	115	1282495,308099	23597,91
15	5452306UF5655S	15	126	1283055,6625	25866,4
16	5452306UF5655S	16	15	1283102,504808	3079,446
17	5452307UF5655S	<Nulo	<Nulo>	<Nulo>	0
18	5452307UF5655S	18	51	1283149,723214	10470,5
19	5452308UF5655S	19	136	1283927,738208	27938,27
20	5452308UF5655S	20	119	1282356,228448	24416,06
21	5452309UF5655S	21	120	1283361,366438	24640,54
22	5452309UF5655S	22	110	1283040,278493	22581,51
23	5452310UF5655S	23	125	1285178,262295	25703,56
24	5452311UF5655S	24	104	1283328,333	21354,58
25	5452311UF5655S	25	139	1283251,43883	28539,51
26	5452311UF5655S	26	123	1280020,681588	25190,81
27	5452312UF5655S	27	130	1283520,265323	26697,22
28	5452312UF5655S	28	106	1282935,112	21758,58
29	5452325UF5655S	29	110	1284896,802184	22614,18
30	5452314UF5655S	30	109	1282735,175962	22370,9
31	5452314UF5655S	31	210	1283461,786706	43124,32
32	5452314UF5655S	32	172	1283247,839474	35314,98
33	5452315UF5655S	33	201	1283382,406875	41273,58
34	4848902	34	326	1283079,079167	66925,41
35	4848902	35	151	1283250,526398	31003,33
36	4848902	36	33	1284596,303191	6782,668
37	4848902	37	26	1281118,808333	5329,454
38	4848902	38	22	1284269,105263	4520,627
39	4848902	39	12	1293025,823529	2482,61
40	5554119UF5655S	40	249	1283956,186759	51152,82
41	5554119UF5655S	41	19	1283716,235294	3902,497
42	5554118UF5655S	42	296	1282707,306166	60749,02
43	5554117UF5655S	43	296	1283250,34918	60774,74
44	5554116UF5655S	44	114	1282898,529362	23400,07
45	5554116UF5655S	45	111	1283324,611207	22791,85
46	5554115UF5655S	46	100	1282547,659553	20520,76
47	5554115UF5655S	47	23	1284109,922794	4725,524
48	5554120UF5655S	48	67	1282824,129687	13751,88
49	5554120UF5655S	49	50	1280998,690141	10247,99
50	5554121UF5655S	50	59	1284069,435714	12121,62
51	5554121UF5655S	51	12	1286272,489583	2469,643
52	5554109UF5655S	52	87	1283769,989329	17870,08
53	5554109UF5655S	53	39	1282769,497984	8004,481
54	5554111UF5655S	54	78	1283165,347222	16013,9
55	5554111UF5655S	55	26	1288286,737805	5359,273
56	5554112UF5655S	<Nulo	<Nulo>	<Nulo>	0
57	5554112UF5655S	57	20	1286526,9375	4116,886
58	5554112UF5655S	58	9	1283623,948864	1848,418
59	5554112UF5655S	59	47	1265105,415123	9513,593
60	5554112UF5655S	60	91	1285206,408654	18712,61
61	5554112UF5655S	61	13	1282694,416667	2668,004
62	1	62	6457	0	1325949

Ilustración 150. Energía producida en cada paño

Se muestra en esta ilustración la energía producida en cada paño, ordenados también por referencia catastral, así como la energía producida por todo el polígono teniendo en cuenta el área horizontal, que sería de un total de **1325949 kWh anuales, es decir, 1326 MWh anuales.**

Se utiliza de nuevo el dato de radiación media por paño para relacionarlo ahora con lo que fue denominado como área real teniendo en cuenta la pendiente. Se procede a utilizar la misma fórmula y se presenta el dato de energía producida como 'ENERGÍA PENDIENTE'.

energía_pendiente					
FID	REFCAT	AREA REAL	ENERGÍA HORIZ	MEAN	ENERGÍA PENDIENTE
0	4848901UF5645S	110,2686	22597,9	1283970,883838	22653,07
1	4848901UF5645S	27,04779	5359,42	1288321,669355	5575,401
2	4848901UF5645S	96,23442	19683,2	1281458,376276	19731,27
3	5554104UF5655S	71,78068	14171,9	1283685,69802	14743,01
4	5554104UF5655S	81,23414	16471,7	1286853,533602	16725,83
5	5554104UF5655S	96,10003	19309,5	1283875,545139	19740,88
6	5554104UF5655S	37,36362	7610,3	1285523,73913	7685,091
7	5452301UF5655S	146,8074	29791,3	1284107,028523	30162,64
8	5452301UF5655S	159,9385	32193,8	1281599,010246	32796,33
9	5452302UF5655S	131,2776	26700,8	1283692,022727	26963,2
10	5452302UF5655S	88,48473	18064,9	1283018,767857	18164,41
11	5452303UF5655S	289,3156	58308,5	1283198,012405	59399,86
12	5452304UF5655S	311,9965	62384,4	1282573,473214	64025,35
13	5452305UF5655S	130,7161	26695,8	1283451,853758	26842,85
14	5452305UF5655S	115,4393	23597,9	1282495,308099	23688,05
15	5452306UF5655S	126,9462	25866,4	1283055,6625	26060,66
16	5452306UF5655S	15,11265	3079,45	1283102,504808	3102,572
17	5452307UF5655S	0	0	<Nulo>	0
18	5452307UF5655S	51,12454	10470,5	1283149,723214	10496,07
19	5452308UF5655S	137,6953	27938,3	1283927,738208	28286,52
20	5452308UF5655S	119,8937	24416,1	1282356,228448	24599,42
21	5452309UF5655S	120,293	24640,5	1283361,366438	24700,71
22	5452309UF5655S	110,2686	22581,5	1283040,278493	22636,65
23	5452310UF5655S	126,9283	25703,6	1285178,262295	26100,09
24	5452311UF5655S	105,0221	21354,6	1283328,333	21564,45
25	5452311UF5655S	139,3394	28539,5	1283251,43883	28609,21
26	5452311UF5655S	124,8975	25190,8	1280020,681588	25579,42
27	5452312UF5655S	131,2776	26697,2	1283520,265323	26959,59
28	5452312UF5655S	106,796	21758,6	1282935,112	21921,98
29	5452325UF5655S	111,6969	22614,2	1284896,802184	22963,05
30	5452314UF5655S	109,6004	22370,9	1282735,175962	22494,13
31	5452314UF5655S	213,2396	43124,3	1283461,786706	43789,58
32	5452314UF5655S	174,144	35315	1283247,839474	35755,19
33	5452315UF5655S	201,4908	41273,6	1283382,406875	41374,37
34	4848902	337,5001	66925,4	1283079,079167	69286,29
35	4848902	156,3267	31003,3	1283250,526398	32097,02
36	4848902	33,41135	6782,67	1284596,303191	6867,215
37	4848902	26,48664	5329,45	1281118,808333	5429,205
38	4848902	23,00522	4520,63	1284269,105263	4727,184
39	4848902	12,85374	2482,61	1283025,823529	2659,236
40	5554119UF5655S	249,1518	51152,8	1283956,186759	51184
41	5554119UF5655S	19,10466	3902,5	1283716,235294	3923,994
42	5554118UF5655S	298,909	60749	1282707,306166	61346,04
43	5554117UF5655S	297,6305	60774,7	1283250,34918	61109,5
44	5554116UF5655S	114,4355	23400,1	1282898,529362	23489,45
45	5554116UF5655S	111,424	22791,8	1283324,611207	22878,91
46	5554115UF5655S	100,9828	20520,8	1282547,659553	20722,43
47	5554115UF5655S	24,32528	4725,52	1284109,922794	4997,814
48	5554120UF5655S	67,09195	13751,9	1282824,129687	13770,75
49	5554120UF5655S	50,1221	10248	1280998,690141	10273,01
50	5554121UF5655S	59,32499	12121,6	1284069,435714	12188,38
51	5554121UF5655S	12,36736	2469,64	1286272,489583	2545,248
52	5554109UF5655S	87,21245	17870,1	1283769,989329	17913,71
53	5554109UF5655S	39,29288	8004,48	1282769,497984	8064,594
54	5554111UF5655S	78,76656	16013,9	1283165,347222	16171,28
55	5554111UF5655S	27,49814	5359,27	1288286,737805	5668,079
56	5554112UF5655S	0	0	<Nulo>	0
57	5554112UF5655S	20,37434	4116,89	1286526,9375	4193,941
58	5554112UF5655S	10,01342	1848,42	1283623,948864	2056,555
59	5554112UF5655S	47,87969	9513,59	1285105,415123	9691,656
60	5554112UF5655S	100,4074	18712,6	1285206,408654	20647,09
61	5554112UF5655S	13,20055	2668	1282694,416667	2709,163
62	1	6548,89	1325950	0	1344819

Ilustración 151. Energía real producida en cada paño

Se puede observar entonces la energía producida en cada paño, ordenados también por referencia catastral así como la energía producida por todo el polígono al calcular el área real por el método ya mencionado. Se pasa entonces de los **1325949** kWh de energía producida calculados mediante la proyección horizontal a **1344819**kWh, **1345 MWh anuales**, aumento del **1.42%**

En un TFG realizado en el año 2021 también en la Escuela de Ingenierías Industriales de Málaga, se realizó un proyecto para la constitución de una comunidad energética en este mismo polígono industrial (Domene Fort, A, 2021). En él se determinó la necesidad de instalar 1528 placas fotovoltaicas de medidas 2094mm x 1038mm de silicio monocristalino con una potencia de 450Wp, pero instaladas con una inclinación de 35°, mientras que en este estudio se ha considerado la instalación de placas paralelas a las cubiertas. En total, se presupuso una generación anual de 1245 MWh. En la imagen inferior pueden observarse esta generación desglosada en los diferentes sectores en los que se dividió este estudio para la constitución de la mancomunidad.

Grupo	Potencia Instalada	Configuración	Inversores	Generación Anual
1	432 kWp	64 strings x 15 módulos FV	8 inversores con 8 strings	796,82 MWh
2	50,4 kWp	8 strings x 14 módulos FV	1 inversor con 8 strings	92,775 MWh
3	32,4 kWp	6 strings x 12 módulos FV	1 inversor con 6 strings	56,197 MWh
4	173 kWp	24 strings x 16 módulos FV	3 inversores con 8 strings	300,17 MWh

*Ilustración 152. Generación anual de energía fotovoltaica en TFG previo. Fuente: Domene Fort, 2021.*

Hay que considerar que la propuesta estudiada en este TFG considera la instalación de placas fotovoltaicas paralelas a las cubiertas, y que tanto la energía como el potencial obtenido se han calculado suponiendo que se ocuparía el 100% de la superficie útil que se ha determinado, y es posible que a pesar de haber descontado zonas de paso, esta no pueda utilizarse realmente al 100% por la presencia de salidas de conductos de ventilación, etc. Sería de interés para estudios futuros, realizar una comparación más detallada entre ambos TFGs que permitan desarrollar nuevas metodologías de análisis espacial para el estudio de potencial fotovoltaico más precisas, y que permitan analizar diferentes disposiciones de las placas.

## 12. Conclusiones

Las energías renovables, y en concreto la energía solar fotovoltaica, están experimentando cada año un aumento de su demanda a nivel mundial. El planeta está sufriendo una crisis climática de la que debemos tomar conciencia y hacernos cargo, se han de tomar decisiones importantes e implementar medidas que ayuden a frenar el deterioro que está sufriendo ahora mismo. Es por ello que herramientas como la de este trabajo de fin de grado, los Sistemas de Información Geográfica, son esenciales en esta lucha, y según más se vaya avanzando en esta tecnología y se disponga de datos más precisos, mayor será el aporte que puedan realizar.

Se ha demostrado con este proyecto como los SIG ayudan de manera eficaz a estudiar y planear la implantación de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica en entornos urbanos. Permite un amplio manejo de datos geospaciales, de cálculo y análisis, lo que permite que llevar a cabo dicho estudio sea accesible y sencillo. En consecuencia, también ayudarán a elegir de manera correcta y tomar mejores decisiones.

Durante el desarrollo del trabajo también se han podido observar diferentes problemas provenientes de las fuentes iniciales de información. Los datos obtenidos de la Sede Electrónica del Catastro no son del todo correctos, y al realizar algunos procedimientos esto conducía a obtener resultados incoherentes. Además, la capa del Modelo Digital de Superficies está formada por celdas o píxeles de 5x5 metros, y la capa de Modelo Digital de Superficies de Edificación es de píxeles de 2.5x2.5 metros, esto hace que la superficie que cubre un píxel sea de gran tamaño (25 o 6.25 metros respectivamente), lo que puede conducir también a error ya que se puede perder información o asignar información errónea. Por tanto, con unos datos iniciales de mayor calidad y con píxeles de mucho menor tamaño, se podrían llevar a cabo estudios más complejos y con mayor exactitud.

La mayor diferencia de este proyecto respecto a los que se han tomado como referencia, es el estudio de la influencia de la pendiente en el área real. La calidad de la información inicial también tiene consecuencias en este apartado, ya que esta será determinante en el valor de las diferentes pendientes y por tanto en la variación respecto al área en proyección horizontal. Como se ha expuesto con anterioridad, según los datos y resultado expuestos en los diferentes datos del proceso, se podría llegar a la conclusión de que no realmente necesario este estudio, puesto que la variación de área real respecto a área horizontal no es de gran tamaño. Sin embargo, hay que destacar que el Polígono Industrial 'El Cerro', es un polígono

de pequeñas dimensiones y cuenta con únicamente 27 naves industriales. Además algunas de ellas tienen una cubierta completamente plana. Por tanto, para otras zonas urbanas de mayores dimensiones y/o con tejados o cubiertas de mayor inclinación, este estudio de la influencia de la pendiente podría ser muy necesario y útil ya que podría presentar variaciones respecto al área horizontal mucho mayores.

En definitiva, los Sistemas de Información Geográfica nos pueden ayudar a seguir avanzando en el desarrollo de las energías renovables, se ha demostrado que son de gran utilidad y una herramienta esencial. Por otro lado, es necesario destacar la importancia de la calidad de las fuentes de información, así como el tratamiento correcto que se haga de todos y cada uno de esos datos, para poder llegar así a conclusiones y decisiones correctas.

## Bibliografía

- Ávila, A. (2014). *Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra*. <http://eprints.sim.ucm.es/25543/>
- Montecino Huedo, P. (2016). *Estudio sobre la evaluación del potencial fotovoltaico en el Polígono Industrial de Coslada*. - *E-Prints Complutense*. Archivo Institucional E-Prints Complutense - E-Prints Complutense. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/43903/>
- Castañeda, M., & Andrés, F. (2015). *Determinación con tecnologías S.I.G. de la radiación solar de edificios en zonas urbanas de Ávila, España*. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13029/1/TFM-A-027.pdf>
- Zapata Mandujano, A. (2019). *Potencial fotovoltaico en los techos de las edificaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4431>
- Adolfo, R. Á. (2020). *Selección de sitios idóneos para el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos de gran escala mediante análisis multicriterio AHP - GIS*. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1210>
- Estimación del potencial fotovoltaico de las cubiertas de equipamientos públicos en la ciudad de Zaragoza*. - *Universidad de Zaragoza Repository*. (2021). <https://zagan.unizar.es/record/109156>
- Cebrián, J., & Mark, D. (1986). *Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos*.
- Gawley, D., & McKenzie, P. R. (2022). Investigating the suitability of GIS and remotely-sensed datasets for photovoltaic modelling on building rooftops. *Energy and Buildings*, 265, 112083. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112083>
- Ávila, A. M. M. & Domínguez, J. (2016). *Desarrollo de un modelo geográfico para la evaluación del potencial fotovoltaico en entornos urbanos*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5796494>
- Dominguez, J. (2002). Los sistemas de información geográfica en la planificación e integración de energías renovables. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/publication/258121479\\_Los\\_sistemas\\_de\\_informacion\\_geografica\\_en\\_la\\_planificacion\\_e\\_integracion\\_de\\_energias\\_renovables](https://www.researchgate.net/publication/258121479_Los_sistemas_de_informacion_geografica_en_la_planificacion_e_integracion_de_energias_renovables)
- An, Y., Chen, T., Shi, L., Heng, C. K., & Fan, J. (2023). Solar energy potential using GIS-based urban residential environmental data: A case study of Shenzhen, China. *Sustainable Cities and Society*, 93, 104547. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104547>

- Verso, A., Martín, A. J., Amador, J., & Domínguez, J. M. (2015). GIS-based method to evaluate the photovoltaic potential in the urban environments: The particular case of Miraflores de la Sierra. *Solar Energy*, 117, 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.04.018>
- Sandoval Valmaña, S. (2021, 8 octubre). *Implementación de una metodología GIS para la localización óptima de plantas fotovoltaicas en la Comunidad Valenciana*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174174>
- Mainzer, k, Killinger, S., McKeen, R., & Fichtner, W. (2017). *Evaluación de los potenciales fotovoltaicos en el techo a nivel urbano utilizando geodatos disponibles al público y técnicas de reconocimiento de imágenes*.
- Martín, A. M., Domínguez, J., & Amador, J. (2015). Applying LIDAR datasets and GIS based model to evaluate solar potential over roofs: a review. *AIMS energy*, 3(3), 326-343. <https://doi.org/10.3934/energy.2015.3.326>
- Bravo, J. D. & Martín, A. M. (2021). *Desarrollo de un modelo geográfico de alta resolución para la estimación de la energía solar en entornos urbanos e industriales. Análisis de resultados e idoneidad de las fuentes de datos*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8294442>
- Rubio, A., & Gutiérrez, J. (1997). Los sistemas de información geográficos: origen y perspectivas. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/publication/39281518\\_Los\\_sistemas\\_de\\_informacion\\_geograficos\\_origen\\_y\\_perspectivas](https://www.researchgate.net/publication/39281518_Los_sistemas_de_informacion_geograficos_origen_y_perspectivas)
- Arancibia, M. E. (2008). El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos. *Polis (santiago)*, 7(20). <https://doi.org/10.4067/s0718-65682008000100012>
- Domínguez, J., Guerra, J. A. & Ávila, A. M. M (2018b). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO APOYO A LAS POLÍTICAS DE FOMENTO DEL AUTOCONSUMO SOLAR EN EL. . . *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/publication/325967639\\_SISTEMAS\\_DE\\_INFORMACION\\_GEOGRAFICA\\_COMO\\_APOYO\\_A\\_LAS\\_POLITICAS\\_DE\\_FOMENTO\\_DEL\\_AUTOCONSUMO\\_SOLAR\\_EN\\_EL\\_AMBITO\\_MUNICIPAL\\_APLICACION\\_DEL\\_MODELO\\_GSOLARROOF\\_EN\\_EL\\_MUNICIPIO\\_DE\\_ALPEDRETE\\_ESPANA](https://www.researchgate.net/publication/325967639_SISTEMAS_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA_COMO_APOYO_A_LAS_POLITICAS_DE_FOMENTO_DEL_AUTOCONSUMO_SOLAR_EN_EL_AMBITO_MUNICIPAL_APLICACION_DEL_MODELO_GSOLARROOF_EN_EL_MUNICIPIO_DE_ALPEDRETE_ESPANA)
- Baró, O. T. (2021). *Hacia la autosuficiencia energética en las ciudades. análisis del potencial solar fotovoltaico a escala urbana en el Principado de Andorra*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8273274>

- Massano, M., Macii, E., Lanzini, A., Patti, E., & Bottaccioli, L. (2022). A GIS Open-Data Co-Simulation Platform for Photovoltaic Integration in Residential Urban Areas. *Engineering*.  
<https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.06.020>
- De Información Geográfica Instituto Geográfico Nacional, O. C. N. (s. f.-b). *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. <https://pnoa.ign.es/web/portal/pnoa-lidar/productos-a-descarga>
- Conozca Cártama. (2023a, junio 6). Ayuntamiento de Cártama. <https://www.cartama.es/3830/conozca-cartama>
- De Meteorología, A. E. (s. f.-b). *Datos climatológicos - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET*. Gobierno de España. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España.  
<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>
- JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. (2016b, enero 11).  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- Sede Electrónica del Catastro - Inicio. (s. f.-b). <https://www.sedecatastro.gob.es/>
- Solar Geometry 2 - SoDa. (s. f.-b). SoDa. <https://www.soda-pro.com/web-services/astronomy/solar-geometry-2>
- Next Generation EU: Ministerio de Hacienda y Función Pública. (s. f.-b). <https://www.hacienda.gob.es/es-ES/CDI/Paginas/FondosEuropeos/Fondos-relacionados-COVID/Next-Generation.aspx>
- Wiginton, L. K., Nguyen, H. H., & Pearce, J. M. (2010). Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 345-357.  
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001>
- Eafit, U. (1995). *La correcta utilización de los promedios*. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/16500>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Preguntas frecuentes sobre acceso y conexión. (s/f). Gob.es. Recuperado el 7 de junio de 2023, de  
<https://energia.gob.es/electricidad/Paginas/preguntas-frecuentes-acceso-conexion.aspx?Faq=Potencia%20instalada>
- Ahorro de energía. (s. f.). <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>
- Recursos de ArcMap para ArcGIS Desktop | Documentación, tutoriales y otros. (s. f.). <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>
- Qué es ArcMap—ArcMap | Documentación. (s. f.). <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>
- Renewables 2022 – Analysis - IEA. (s. f.). IEA. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

Flores, J. (2022, 9 septiembre). España produce el triple de energía solar que hace 3 años.

[www.nationalgeographic.com.es. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/espana-produce-triple-energia-solar-que-hace-3-anos\\_18737](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/espana-produce-triple-energia-solar-que-hace-3-anos_18737)

*BOE-A-2008-15595 Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.* (s/f). Boe.es. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/09/26/1578>

Citric. (s. f.). *España se posiciona, según el informe de REN21, en octava posición mundial en cuanto a capacidad de energía renovable* | SolarProfit.es. SolarProfit. <https://solarprofit.es/es/blog/informe-estado-global-energias-renovables/>

*BOE-A-2007-15822 Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.* (s.f.). BOE.es  
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/07/27/1071>

*Instalaciones de energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red* | Idae. (s.f.). Inicio | Idae.  
<https://www.idae.es/publicaciones/instalaciones-de-energia-solar-fotovoltaica-pliego-de-condiciones-tecnicas-de>

Domene For, A. (2021). Comunidad energética en polígono industrial en Cártama (Málaga). Trabajo de fin de grado. Universidad de Málaga.

# **Anexos**

---

**01.- Anexo I. Archivo Excel datos de posición del sol obtenidos de 'SG2'.**

**02.- Anexo II. Tablas**

**03.- Anexo III. Planos**

# 01.- Anexo I. Archivo Excel datos de posición del sol obtenidos de 'SG2'.

```
# Solar Geometry 2
# Fast and accurate Solar Position Algorithm
# MINES ParisTech / ARMINES
# The research leading to these results of the ENDORSE project that has received funding from the European Union's
Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under Grant Agreement no. 262892 (www.endorse-fp7.eu)
# JDUT: universal julian date (day)
# YYYY: year
# MM: month of the year
# DD: day of the month
# H: hour of the day (decimal hour)
# DOY: day of the year
# DELTA: topocentric declination (radian)
# OMEGA: topocentric hour angle (radian)
# GAMMA_S0: topocentric Sun elevation angle without refraction correction (radian)
# ALPHA_S: topocentric Sun azimuth angle Eastward from North (radian)
# R: Sun-Earth Radius (ua)
#
# latitude: 36.720550
# longitude: -4.620380
```

YYYY	MM	DD	H	GAMMA_S0 (elevación)	elevación_grados	ALPHA_S (acimut)	acimut_grados
2022	1	21	10.0000	0,40655354382	23,293802207088	2,46975617004	141,506604969801
2022	1	21	11.0000	0,51642048316	29,588714139118	2,71604982544	155,618191945185
2022	1	21	12.0000	0,57594925451	32,999461496957	2,99586205719	171,650251880196
2022	1	21	13.0000	0,57586787022	32,994798520908	3,28965496346	188,483345460521
2022	1	21	14.0000	0,51619060029	29,575542820827	3,56943290267	204,513440578236
2022	1	21	15.0000	0,40620851525	23,274033526330	3,81570046924	218,623532773311
2022	1	21	16.0000	0,25882690805	14,829689455628	4,02461517720	230,593463817684
2022	2	21	10.0000	0,53749456758	30,796170233486	2,35917443737	135,170738396452
2022	2	21	11.0000	0,66449499848	38,072758920170	2,63137967851	150,766949875000
2022	2	21	12.0000	0,73676738942	42,213661896695	2,95542461671	169,333357206437
2022	2	21	13.0000	0,73951825514	42,371274892229	3,30425458649	189,319842242851
2022	2	21	14.0000	0,67210286338	38,508657470504	3,63155699435	208,072888837183
2022	2	21	15.0000	0,54861073278	31,433079584045	3,90799608528	223,911682040020
2022	2	21	16.0000	0,38703101237	22,175243549419	4,13314410533	236,811713354784
2022	3	21	10.0000	0,70516196932	40,402804715055	2,24752993931	128,773979851872
2022	3	21	11.0000	0,84735804530	48,550039732088	2,55732308462	146,523819600332
2022	3	21	12.0000	0,92735242627	53,133380146488	2,95434458713	169,271476069754
2022	3	21	13.0000	0,92103136211	52,771209847859	3,39107903956	194,294516961778
2022	3	21	14.0000	0,83066619120	47,593666940139	3,77700855564	216,406649423204
2022	3	21	15.0000	0,68213927927	39,083701741980	4,07505467360	233,483434082570
2022	3	21	16.0000	0,50044936738	28,673636610809	4,30307466928	246,548017479626
2022	4	21	10.0000	0,88095573996	50,475045837303	2,09347374945	119,947210365142
2022	4	21	11.0000	1,04274832568	59,745078155568	2,44465046457	140,068154004328
2022	4	21	12.0000	1,13319880345	64,927508786845	2,96762683841	170,032493010530
2022	4	21	13.0000	1,10717944959	63,436709624895	3,55997390628	203,971480006316
2022	4	21	14.0000	0,98015897575	56,158972562054	4,00786053994	229,633493815585

2022	4	21	15.0000	0,80175260792	45,937040647538	4,30298403160	246,542824322581
2022	4	21	16.0000	0,60172150357	34,476102597056	4,51363478244	258,612223297261
2022	5	21	10.0000	0,98250200999	56,293218535433	1,91892250024	109,946160476215
2022	5	21	11.0000	1,16515596704	66,758519386048	2,27011042267	130,067746247479
2022	5	21	12.0000	1,27743529828	73,191651192537	2,92634340377	167,667126441740
2022	5	21	13.0000	1,23626076864	70,832524420557	3,73148430769	213,798302150047
2022	5	21	14.0000	1,07920779654	61,834051959527	4,21385303627	241,435994466773
2022	5	21	15.0000	0,88299573212	50,591928778712	4,48314124873	256,865072513181
2022	5	21	16.0000	0,67535907500	38,695224653302	4,66868963460	267,496211918997
2022	6	21	10.0000	0,99674373710	57,109209392099	1,81282859669	103,867427571018
2022	6	21	11.0000	1,19052970038	68,212327216748	2,12849382114	121,953712670766
2022	6	21	12.0000	1,32672319216	76,015639492778	2,79897465944	160,369434950151
2022	6	21	13.0000	1,29514164500	74,206150130245	3,76133570369	215,508661153135
2022	6	21	14.0000	1,13085121125	64,793001661768	4,27941552302	245,192448251758
2022	6	21	15.0000	0,93040375107	53,308208179337	4,54096314791	260,178023299684
2022	6	21	16.0000	0,72150862770	41,339399249715	4,71705136518	270,267134971008
2022	7	21	10.0000	0,95199890762	54,545519507404	1,87209769037	107,263296494104
2022	7	21	11.0000	1,14041620659	65,341035525812	2,19131282495	125,552976462410
2022	7	21	12.0000	1,27077185425	72,809863972252	2,78995939636	159,852898424180
2022	7	21	13.0000	1,25632910215	71,982355232541	3,62151597854	207,497581009590
2022	7	21	14.0000	1,11065617982	63,635911593694	4,15864002686	238,272522052963
2022	7	21	15.0000	0,91761118872	52,575248347409	4,44983415132	254,956716403815
2022	7	21	16.0000	0,71071745404	40,721110542890	4,64352941843	266,054637720877
2022	8	21	10.0000	0,86893590568	49,786360062670	2,07024352673	118,616216645965
2022	8	21	11.0000	1,03403208726	59,245674480987	2,41121668595	138,152539596514
2022	8	21	12.0000	1,13140592076	64,824784175432	2,92299970652	167,475546701574
2022	8	21	13.0000	1,11394324741	63,824246693748	3,52000408267	201,681377805867
2022	8	21	14.0000	0,99208916342	56,842521964803	3,98112581366	228,101706833418
2022	8	21	15.0000	0,81581155825	46,742559165773	4,28454676283	245,486446636713
2022	8	21	16.0000	0,61650817903	35,323316693600	4,49915009819	257,782312022386
2022	9	21	10.0000	0,74716613254	42,809465989368	2,30802048767	132,239832973389
2022	9	21	11.0000	0,87752385280	50,278413187213	2,64004009337	151,263155095597
2022	9	21	12.0000	0,93862683165	53,779355991281	3,05615252558	175,104641263981
2022	9	21	13.0000	0,91040652107	52,162451298385	3,49072355016	200,003726871263
2022	9	21	14.0000	0,80282736368	45,998619616364	3,85727599462	221,005634908967
2022	9	21	15.0000	0,64381147594	36,887680373393	4,13619988367	236,986796556621
2022	9	21	16.0000	0,45630822969	26,144535718381	4,35140538952	249,317163770148
2022	10	21	10.0000	0,60033195043	34,396487066210	2,48641371948	142,461012249400
2022	10	21	11.0000	0,70231342773	40,239595304181	2,78407502825	159,515748966433
2022	10	21	12.0000	0,74149950257	42,484792008082	3,12353189753	178,965194903073
2022	10	21	13.0000	0,70907713905	40,627127416891	3,46525374893	198,544414755633
2022	10	21	14.0000	0,61242292602	35,089248937999	3,76785841828	215,882385170167
2022	10	21	15.0000	0,46871911937	26,855627317047	4,01718960399	230,168009812171
2022	10	21	16.0000	0,29443258079	16,869744230183	4,22133151892	241,864479959493
2022	11	21	10.0000	0,45706131299	26,187684212920	2,57030339031	147,267536332643
2022	11	21	11.0000	0,54667057309	31,321916621826	2,83192406187	162,257296646753
2022	11	21	12.0000	0,58122930907	33,301986339188	3,12037025188	178,784045950840
2022	11	21	13.0000	0,55499655865	31,798960454643	3,41078948141	195,423842092179
2022	11	21	14.0000	0,47239251191	27,066097206027	3,67708827496	210,681639052420
2022	11	21	15.0000	0,34498741840	19,766323059262	3,90661608511	223,832613854666

2022	11	21	16.0000	0,18546107639	10,626136940871	4,10078788904	234,957838720354
2022	12	21	10.0000	0,38007433841	21,776655492063	2,55420035109	146,344900148462
2022	12	21	11.0000	0,47460653758	27,192951532708	2,79686105535	160,248334356232
2022	12	21	12.0000	0,51860199979	29,713705835241	3,06544827404	175,637248418212
2022	12	21	13.0000	0,50566443914	28,972438212457	3,34059892048	191,402219189635
2022	12	21	14.0000	0,43777336116	25,082565977896	3,59927047222	206,223007384322
2022	12	21	15.0000	0,32403057889	18,565584603693	3,82718520422	219,281559616777
2022	12	21	16.0000	0,17588060849	10,077216564498	4,02230206056	230,460931996633

## 02.- Anexo II. Tablas

### Índice de tablas

1. Área en proyección horizontal por naves (m <sup>2</sup> ).....	107
2. Área en proyección horizontal por paños (m <sup>2</sup> ).....	108
3. Área real según método 1 (m <sup>2</sup> ).....	109
4. Área real según método 2 (m <sup>2</sup> ).....	110
5. Área real según método 3 (m <sup>2</sup> ).....	111
6. Área real según método 4 (m <sup>2</sup> ).....	111
7. Potencia instalada en área horizontal (kWp).....	112
8. Potencia instalada en área real (kWp).....	113
9. Energía generada por área horizontal (kWh).....	115
10. Energía generada por área real (kWh).....	116

## 02.- Anexo II. Tablas

### 1. Área en proyección horizontal por naves (m2)

FID	Shape *	REFCAT *	COUNT_1	AREA_1
28	Polígono	1	7569	7569
27	Polígono	4848901UF5645S	243	243
4	Polígono	4848902	729	729
14	Polígono	5452301UF5655S	358	358
25	Polígono	5452302UF5655S	269	269
1	Polígono	5452303UF5655S	284	284
5	Polígono	5452304UF5655S	304	304
12	Polígono	5452305UF5655S	299	299
20	Polígono	5452306UF5655S	171	171
8	Polígono	5452307UF5655S	51	51
7	Polígono	5452308UF5655S	309	309
0	Polígono	5452309UF5655S	280	280
6	Polígono	5452310UF5655S	125	125
3	Polígono	5452311UF5655S	468	468
17	Polígono	5452312UF5655S	288	288
18	Polígono	5452314UF5655S	582	582
16	Polígono	5452315UF5655S	201	201
11	Polígono	5452325UF5655S	110	110
19	Polígono	5554104UF5655S	362	362
22	Polígono	5554109UF5655S	165	165
26	Polígono	5554111UF5655S	134	134
24	Polígono	5554112UF5655S	260	260
23	Polígono	5554115UF5655S	153	153
10	Polígono	5554116UF5655S	297	297
21	Polígono	5554117UF5655S	296	296
9	Polígono	5554118UF5655S	296	296
15	Polígono	5554119UF5655S	271	271
13	Polígono	5554120UF5655S	158	158
2	Polígono	5554121UF5655S	106	106

## 2. Área en proyección horizontal por paños (m2)

FID	Shape *	REFCAT	COUNT	AREA_1
0	Polígono	4848901UF5645S	110	110
1	Polígono	4848901UF5645S	26	26
2	Polígono	4848901UF5645S	96	96
3	Polígono	5554104UF5655S	69	69
4	Polígono	5554104UF5655S	80	80
5	Polígono	5554104UF5655S	94	94
6	Polígono	5554104UF5655S	37	37
7	Polígono	5452301UF5655S	145	145
8	Polígono	5452301UF5655S	157	157
9	Polígono	5452302UF5655S	130	130
10	Polígono	5452302UF5655S	88	88
11	Polígono	5452303UF5655S	284	284
12	Polígono	5452304UF5655S	304	304
13	Polígono	5452305UF5655S	130	130
14	Polígono	5452305UF5655S	115	115
15	Polígono	5452306UF5655S	126	126
16	Polígono	5452306UF5655S	15	15
17	Polígono	5452307UF5655S	0	0
18	Polígono	5452307UF5655S	51	51
19	Polígono	5452308UF5655S	136	136
20	Polígono	5452308UF5655S	119	119
21	Polígono	5452309UF5655S	120	120
22	Polígono	5452309UF5655S	110	110
23	Polígono	5452310UF5655S	125	125
24	Polígono	5452311UF5655S	104	104
25	Polígono	5452311UF5655S	139	139
26	Polígono	5452311UF5655S	123	123
27	Polígono	5452312UF5655S	130	130
28	Polígono	5452312UF5655S	106	106
29	Polígono	5452325UF5655S	110	110
30	Polígono	5452314UF5655S	109	109
31	Polígono	5452314UF5655S	210	210
32	Polígono	5452314UF5655S	172	172
33	Polígono	5452315UF5655S	201	201
34	Polígono	4848902	326	326
35	Polígono	4848902	151	151
36	Polígono	4848902	33	33
37	Polígono	4848902	26	26
38	Polígono	4848902	22	22
39	Polígono	4848902	12	12
40	Polígono	5554119UF5655S	249	249
41	Polígono	5554119UF5655S	19	19
42	Polígono	5554118UF5655S	296	296
43	Polígono	5554117UF5655S	296	296
44	Polígono	5554116UF5655S	114	114
45	Polígono	5554116UF5655S	111	111
46	Polígono	5554115UF5655S	100	100

47	Polígono	5554115UF5655S	23	23
48	Polígono	5554120UF5655S	67	67
49	Polígono	5554120UF5655S	50	50
50	Polígono	5554121UF5655S	59	59
51	Polígono	5554121UF5655S	12	12
52	Polígono	5554109UF5655S	87	87
53	Polígono	5554109UF5655S	39	39
54	Polígono	5554111UF5655S	78	78
55	Polígono	5554111UF5655S	26	26
56	Polígono	5554112UF5655S	0	0
57	Polígono	5554112UF5655S	20	20
58	Polígono	5554112UF5655S	9	9
59	Polígono	5554112UF5655S	47	47
60	Polígono	5554112UF5655S	91	91
61	Polígono	5554112UF5655S	13	13
62	Polígono		6457	6457

### 3. Área real según método 1 (m2)

REFCAT *	COUNT	AREA	MEDIAN	AREA REAL	AUMENTO(%)
4848901UF5645S	243	243	4	243,5934	0,244191
4848902	729	729	15	754,7164	3,527631
5452301UF5655S	358	358	9	362,4625	1,246515
5452302UF5655S	269	269	7	271,0201	0,750982
5452303UF5655S	284	284	11	289,3156	1,871673
5452304UF5655S	304	304	13	311,9965	2,630424
5452305UF5655S	299	299	6	300,647	0,550827
5452306UF5655S	171	171	7	172,2842	0,750982
5452307UF5655S	51	51	4	51,12454	0,244193
5452308UF5655S	309	309	8	312,0367	0,982765
5452309UF5655S	280	280	4	280,6837	0,244195
5452310UF5655S	125	125	10	126,9283	1,54267
5452311UF5655S	468	468	6	470,5779	0,550829
5452312UF5655S	288	288	8	290,8304	0,982761
5452314UF5655S	582	582	9	589,2548	1,246522
5452315UF5655S	201	201	4	201,4908	0,244194
5452325UF5655S	110	110	10	111,6969	1,54267
5554104UF5655S	362	362	12	370,0873	2,234072
5554109UF5655S	165	165	6	165,9089	0,550833
5554111UF5655S	134	134	10	136,0672	1,542664
5554112UF5655S	260	260	18	273,3802	5,14625
5554115UF5655S	153	153	11	155,8637	1,871675
5554116UF5655S	297	297	5	298,1345	0,381983
5554117UF5655S	296	296	6	297,6305	0,550832
5554118UF5655S	296	296	8	298,909	0,982759
5554119UF5655S	271	271	2	271,1652	0,060956
5554120UF5655S	158	158	4	158,3858	0,244189
5554121UF5655S	106	106	7	106,796	0,750984
1	0	7569	0	7672,99	1,37

#### 4. Área real según método 2 (m2)

MEDIAN	FID *	COUNT	AREA	AREA REAL	AUMENTO (%)
4	0	110	110	110,2686	0,244189
16	1	26	26	27,04779	4,029963
4	2	96	96	96,23442	0,244188
16	3	69	69	71,78068	4,029968
10	4	80	80	81,23414	1,542673
12	5	94	94	96,10003	2,234073
8	6	37	37	37,36362	0,982759
9	7	145	145	146,8074	1,246517
11	8	157	157	159,9385	1,87168
8	9	130	130	131,2776	0,98276
6	10	88	88	88,48473	0,550834
11	11	284	284	289,3156	1,871673
13	12	304	304	311,9965	2,630424
6	13	130	130	130,7161	0,550831
5	14	115	115	115,4393	0,381987
7	15	126	126	126,9462	0,750987
7	16	15	15	15,11265	0,750987
8	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0	0
4	18	51	51	51,12454	0,244193
9	19	136	136	137,6953	1,24652
7	20	119	119	119,8937	0,750989
4	21	120	120	120,293	0,244192
4	22	110	110	110,2686	0,244189
10	23	125	125	126,9283	1,54267
8	24	104	104	105,0221	0,982761
4	25	139	139	139,3394	0,244196
10	26	123	123	124,8975	1,54267
8	27	130	130	131,2776	0,98276
7	28	106	106	106,796	0,750984
10	29	110	110	111,6969	1,54267
6	30	109	109	109,6004	0,550828
10	31	210	210	213,2396	1,542671
9	32	172	172	174,144	1,246519
4	33	201	201	201,4908	0,244194
15	34	326	326	337,5001	3,527635
15	35	151	151	156,3267	3,52764
9	36	33	33	33,41135	1,246516
11	37	26	26	26,48664	1,871681
17	38	22	22	23,00522	4,569201
21	39	12	12	12,85374	7,114538
2	40	249	249	249,1518	0,060955
6	41	19	19	19,10466	0,550832
8	42	296	296	298,909	0,982759
6	43	296	296	297,6305	0,550832
5	44	114	114	114,4355	0,381985
5	45	111	111	111,424	0,381985
8	46	100	100	100,9828	0,982765

19	47	23	23	24,32528	5,7621
3	48	67	67	67,09195	0,137238
4	49	50	50	50,1221	0,244194
6	50	59	59	59,32499	0,550829
14	51	12	12	12,36736	3,061374
4	52	87	87	87,21245	0,244193
7	53	39	39	39,29288	0,750987
8	54	78	78	78,76656	0,982764
19	55	26	26	27,49814	5,762093
16	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0	0
11	57	20	20	20,37434	1,871681
26	58	9	9	10,01342	11,26025
11	59	47	47	47,87969	1,871677
25	60	91	91	100,4074	10,33785
10	61	13	13	13,20055	1,542671
0	62	0	6457	6548,89	1,42

### 5. Área real según método 3 (m2)

Área total polígono según naves (A)	7569
Área total polígono según paños (B)	6457
Mediana polígono entero	8º
Área real polígono según (A)	7643,38
Área real polígono según (B)	6520,46
Aumento (%)	0,98

### 6. Área real según método 4 (m2)

REFCAT	COUNT	AREA REAL	COUNT_1	AREA_1	AUMENTO (%)
1	0	7714,94	7569	7569	1,928127
4848901UF5645S	243	251,9826	243	243	3,696545
4848902	729	750,6132	729	729	2,964768
5452301UF5655S	358	363,4048	358	358	1,509734
5452302UF5655S	269	271,415	269	269	0,897784
5452303UF5655S	284	289,4518	284	284	1,919631
5452304UF5655S	304	312,2542	304	304	2,715211
5452305UF5655S	299	301,0647	299	299	0,690524
5452306UF5655S	171	172,8016	171	171	1,053579
5452307UF5655S	51	51,40234	51	51	0,788909
5452308UF5655S	309	313,1736	309	309	1,350684
5452309UF5655S	280	281,106	280	280	0,394995
5452310UF5655S	125	127,1268	125	125	1,701416
5452311UF5655S	468	473,0075	468	468	1,069974
5452312UF5655S	288	291,1931	288	288	1,108731
5452314UF5655S	582	590,3762	582	582	1,439213
5452315UF5655S	201	201,6238	201	201	0,310346
5452325UF5655S	110	112,1368	110	110	1,94259
5554104UF5655S	362	374,7868	362	362	3,532275
5554109UF5655S	165	166,9002	165	165	1,151632
5554111UF5655S	134	136,8766	134	134	2,146695

5554112UF5655S	260	291,5916	260	260	12,15061
5554115UF5655S	153	155,6599	153	153	1,738465
5554116UF5655S	297	298,119	297	297	0,376753
5554117UF5655S	296	298,7592	296	296	0,932168
5554118UF5655S	296	299,0079	296	296	1,016173
5554119UF5655S	271	272,3163	271	271	0,485736
5554120UF5655S	158	159,5118	158	158	0,956861
5554121UF5655S	106	107,2762	106	106	1,203918

## 7. Potencia instalada en área horizontal (kWp)

REFCAT	FID *	COUNT	AREA	POTENCIA
4848901UF5645S	0	110	110	17,6
4848901UF5645S	1	26	26	4,16
4848901UF5645S	2	96	96	15,36
5554104UF5655S	3	69	69	11,04
5554104UF5655S	4	80	80	12,8
5554104UF5655S	5	94	94	15,04
5554104UF5655S	6	37	37	5,92
5452301UF5655S	7	145	145	23,2
5452301UF5655S	8	157	157	25,12
5452302UF5655S	9	130	130	20,8
5452302UF5655S	10	88	88	14,08
5452303UF5655S	11	284	284	45,44
5452304UF5655S	12	304	304	48,64
5452305UF5655S	13	130	130	20,8
5452305UF5655S	14	115	115	18,4
5452306UF5655S	15	126	126	20,16
5452306UF5655S	16	15	15	2,4
5452307UF5655S	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0
5452307UF5655S	18	51	51	8,16
5452308UF5655S	19	136	136	21,76
5452308UF5655S	20	119	119	19,04
5452309UF5655S	21	120	120	19,2
5452309UF5655S	22	110	110	17,6
5452310UF5655S	23	125	125	20
5452311UF5655S	24	104	104	16,64
5452311UF5655S	25	139	139	22,24
5452311UF5655S	26	123	123	19,68
5452312UF5655S	27	130	130	20,8
5452312UF5655S	28	106	106	16,96
5452325UF5655S	29	110	110	17,6
5452314UF5655S	30	109	109	17,44
5452314UF5655S	31	210	210	33,6
5452314UF5655S	32	172	172	27,52
5452315UF5655S	33	201	201	32,16
4848902	34	326	326	52,16
4848902	35	151	151	24,16
4848902	36	33	33	5,28
4848902	37	26	26	4,16

4848902	38	22	22	3,52
4848902	39	12	12	1,92
5554119UF5655S	40	249	249	39,84
5554119UF5655S	41	19	19	3,04
5554118UF5655S	42	296	296	47,36
5554117UF5655S	43	296	296	47,36
5554116UF5655S	44	114	114	18,24
5554116UF5655S	45	111	111	17,76
5554115UF5655S	46	100	100	16
5554115UF5655S	47	23	23	3,68
5554120UF5655S	48	67	67	10,72
5554120UF5655S	49	50	50	8
5554121UF5655S	50	59	59	9,44
5554121UF5655S	51	12	12	1,92
5554109UF5655S	52	87	87	13,92
5554109UF5655S	53	39	39	6,24
5554111UF5655S	54	78	78	12,48
5554111UF5655S	55	26	26	4,16
5554112UF5655S	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	0
5554112UF5655S	57	20	20	3,2
5554112UF5655S	58	9	9	1,44
5554112UF5655S	59	47	47	7,52
5554112UF5655S	60	91	91	14,56
5554112UF5655S	61	13	13	2,08
1	62	0	6457	1033,12

#### 8. Potencia instalada en área real (kWp)

FID	REFCAT	AREA_REAL	POTENCIA
0	4848901UF5645S	110,2686	17,643
1	4848901UF5645S	27,04779	4,32765
2	4848901UF5645S	96,23442	15,3975
3	5554104UF5655S	71,78068	11,4849
4	5554104UF5655S	81,23414	12,9975
5	5554104UF5655S	96,10003	15,376
6	5554104UF5655S	37,36362	5,97818
7	5452301UF5655S	146,8074	23,4892
8	5452301UF5655S	159,9385	25,5902
9	5452302UF5655S	131,2776	21,0044
10	5452302UF5655S	88,48473	14,1576
11	5452303UF5655S	289,3156	46,2905
12	5452304UF5655S	311,9965	49,9194
13	5452305UF5655S	130,7161	20,9146
14	5452305UF5655S	115,4393	18,4703
15	5452306UF5655S	126,9462	20,3114
16	5452306UF5655S	15,11265	2,41802
17	5452307UF5655S	0	0
18	5452307UF5655S	51,12454	8,17993
19	5452308UF5655S	137,6953	22,0312
20	5452308UF5655S	119,8937	19,183

21	5452309UF5655S	120,293	19,2469
22	5452309UF5655S	110,2686	17,643
23	5452310UF5655S	126,9283	20,3085
24	5452311UF5655S	105,0221	16,8035
25	5452311UF5655S	139,3394	22,2943
26	5452311UF5655S	124,8975	19,9836
27	5452312UF5655S	131,2776	21,0044
28	5452312UF5655S	106,796	17,0874
29	5452325UF5655S	111,6969	17,8715
30	5452314UF5655S	109,6004	17,5361
31	5452314UF5655S	213,2396	34,1183
32	5452314UF5655S	174,144	27,863
33	5452315UF5655S	201,4908	32,2385
34	4848902	337,5001	54
35	4848902	156,3267	25,0123
36	4848902	33,41135	5,34582
37	4848902	26,48664	4,23786
38	4848902	23,00522	3,68084
39	4848902	12,85374	2,0566
40	5554119UF5655S	249,1518	39,8643
41	5554119UF5655S	19,10466	3,05675
42	5554118UF5655S	298,909	47,8254
43	5554117UF5655S	297,6305	47,6209
44	5554116UF5655S	114,4355	18,3097
45	5554116UF5655S	111,424	17,8278
46	5554115UF5655S	100,9828	16,1572
47	5554115UF5655S	24,32528	3,89205
48	5554120UF5655S	67,09195	10,7347
49	5554120UF5655S	50,1221	8,01954
50	5554121UF5655S	59,32499	9,492
51	5554121UF5655S	12,36736	1,97878
52	5554109UF5655S	87,21245	13,954
53	5554109UF5655S	39,29288	6,28686
54	5554111UF5655S	78,76656	12,6026
55	5554111UF5655S	27,49814	4,3997
56	5554112UF5655S	0	0
57	5554112UF5655S	20,37434	3,25989
58	5554112UF5655S	10,01342	1,60215
59	5554112UF5655S	47,87969	7,66075
60	5554112UF5655S	100,4074	16,0652
61	5554112UF5655S	13,20055	2,11209
62	1	6548,89	1047,82

## 9. Energía generada por área horizontal (kWh)

FID	REFCAT	AREA	DIACIÓN ME	ENERGÍA
0	4848901UF5645S	110	1283970,9	22597,9
1	4848901UF5645S	26	1288321,7	5359,42
2	4848901UF5645S	96	1281458,4	19683,2
3	5554104UF5655S	69	1283685,7	14171,9
4	5554104UF5655S	80	1286853,5	16471,7
5	5554104UF5655S	94	1283875,5	19309,5
6	5554104UF5655S	37	1285523,7	7610,3
7	5452301UF5655S	145	1284107	29791,3
8	5452301UF5655S	157	1281599	32193,8
9	5452302UF5655S	130	1283692	26700,8
10	5452302UF5655S	88	1283018,8	18064,9
11	5452303UF5655S	284	1283198	58308,5
12	5452304UF5655S	304	1282573,5	62384,4
13	5452305UF5655S	130	1283451,9	26695,8
14	5452305UF5655S	115	1282495,3	23597,9
15	5452306UF5655S	126	1283055,7	25866,4
16	5452306UF5655S	15	1283102,5	3079,45
17	5452307UF5655S	<Nulo>	<Nulo>	0
18	5452307UF5655S	51	1283149,7	10470,5
19	5452308UF5655S	136	1283927,7	27938,3
20	5452308UF5655S	119	1282356,2	24416,1
21	5452309UF5655S	120	1283361,4	24640,5
22	5452309UF5655S	110	1283040,3	22581,5
23	5452310UF5655S	125	1285178,3	25703,6
24	5452311UF5655S	104	1283328,3	21354,6
25	5452311UF5655S	139	1283251,4	28539,5
26	5452311UF5655S	123	1280020,7	25190,8
27	5452312UF5655S	130	1283520,3	26697,2
28	5452312UF5655S	106	1282935,1	21758,6
29	5452325UF5655S	110	1284896,8	22614,2
30	5452314UF5655S	109	1282735,2	22370,9
31	5452314UF5655S	210	1283461,8	43124,3
32	5452314UF5655S	172	1283247,8	35315
33	5452315UF5655S	201	1283382,4	41273,6
34	4848902	326	1283079,1	66925,4
35	4848902	151	1283250,5	31003,3
36	4848902	33	1284596,3	6782,67
37	4848902	26	1281118,8	5329,45
38	4848902	22	1284269,1	4520,63
39	4848902	12	1293025,8	2482,61
40	5554119UF5655S	249	1283956,2	51152,8
41	5554119UF5655S	19	1283716,2	3902,5
42	5554118UF5655S	296	1282707,3	60749
43	5554117UF5655S	296	1283250,3	60774,7
44	5554116UF5655S	114	1282898,5	23400,1
45	5554116UF5655S	111	1283324,6	22791,8

46	5554115UF5655S	100	1282547,7	20520,8
47	5554115UF5655S	23	1284109,9	4725,52
48	5554120UF5655S	67	1282824,1	13751,9
49	5554120UF5655S	50	1280998,7	10248
50	5554121UF5655S	59	1284069,4	12121,6
51	5554121UF5655S	12	1286272,5	2469,64
52	5554109UF5655S	87	1283770	17870,1
53	5554109UF5655S	39	1282769,5	8004,48
54	5554111UF5655S	78	1283165,3	16013,9
55	5554111UF5655S	26	1288286,7	5359,27
56	5554112UF5655S	<Nulo>	<Nulo>	0
57	5554112UF5655S	20	1286526,9	4116,89
58	5554112UF5655S	9	1283623,9	1848,42
59	5554112UF5655S	47	1265105,4	9513,59
60	5554112UF5655S	91	1285206,4	18712,6
61	5554112UF5655S	13	1282694,4	2668
62	1	6457	0	1325950

#### 10. Energía generada por área real (kWh)

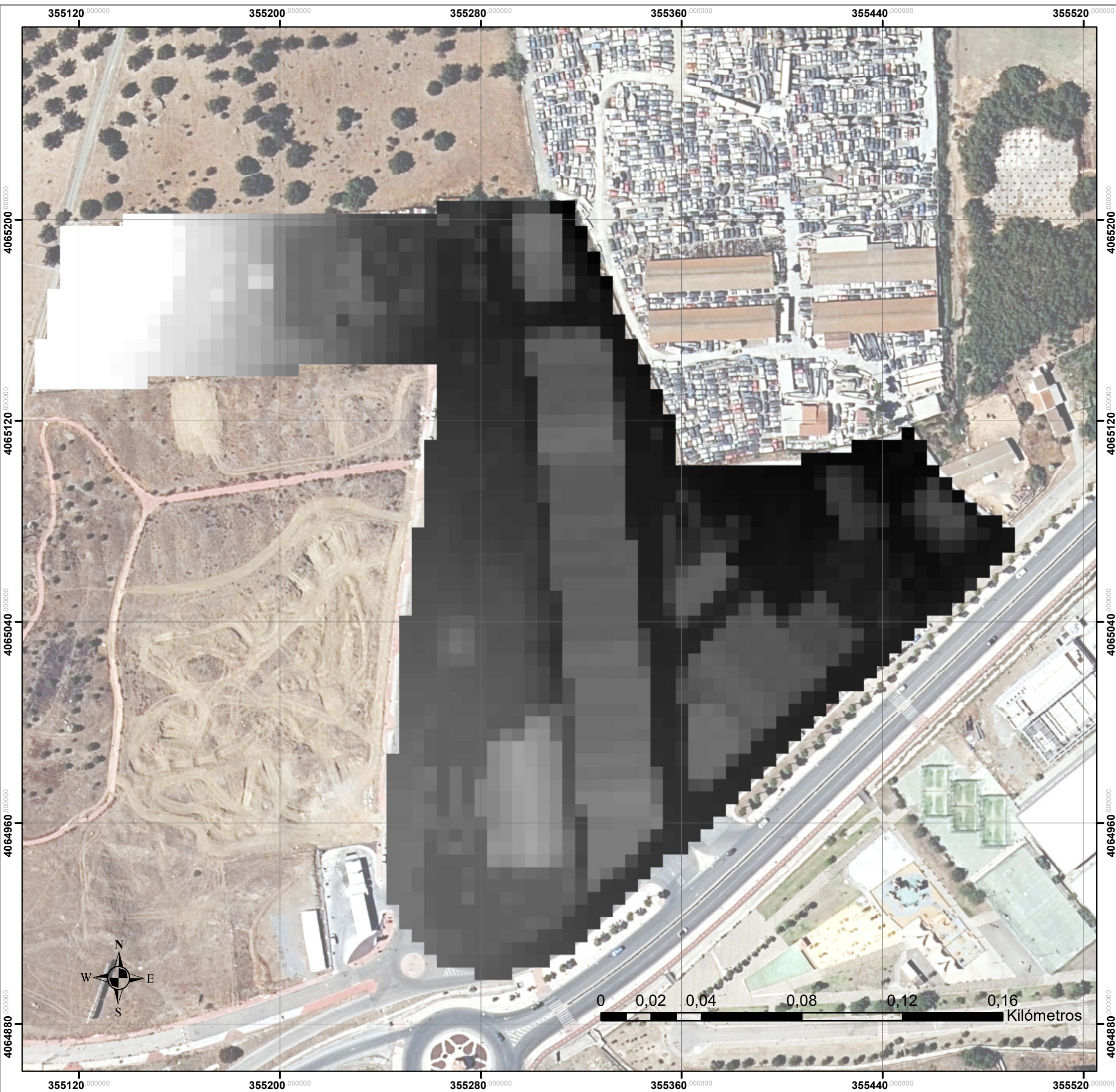
FID	REFCAT	AREA_REAL	RADIACIÓN	ENERGÍA
0	4848901UF5645S	110,2686	1283970,9	22653,1
1	4848901UF5645S	27,04779	1288321,7	5575,4
2	4848901UF5645S	96,23442	1281458,4	19731,3
3	5554104UF5655S	71,78068	1283685,7	14743
4	5554104UF5655S	81,23414	1286853,5	16725,8
5	5554104UF5655S	96,10003	1283875,5	19740,9
6	5554104UF5655S	37,36362	1285523,7	7685,09
7	5452301UF5655S	146,8074	1284107	30162,6
8	5452301UF5655S	159,9385	1281599	32796,3
9	5452302UF5655S	131,2776	1283692	26963,2
10	5452302UF5655S	88,48473	1283018,8	18164,4
11	5452303UF5655S	289,3156	1283198	59399,9
12	5452304UF5655S	311,9965	1282573,5	64025,3
13	5452305UF5655S	130,7161	1283451,9	26842,8
14	5452305UF5655S	115,4393	1282495,3	23688,1
15	5452306UF5655S	126,9462	1283055,7	26060,7
16	5452306UF5655S	15,11265	1283102,5	3102,57
17	5452307UF5655S	0	<Nulo>	0
18	5452307UF5655S	51,12454	1283149,7	10496,1
19	5452308UF5655S	137,6953	1283927,7	28286,5
20	5452308UF5655S	119,8937	1282356,2	24599,4
21	5452309UF5655S	120,293	1283361,4	24700,7
22	5452309UF5655S	110,2686	1283040,3	22636,7
23	5452310UF5655S	126,9283	1285178,3	26100,1
24	5452311UF5655S	105,0221	1283328,3	21564,4
25	5452311UF5655S	139,3394	1283251,4	28609,2
26	5452311UF5655S	124,8975	1280020,7	25579,4
27	5452312UF5655S	131,2776	1283520,3	26959,6
28	5452312UF5655S	106,796	1282935,1	21922

29	5452325UF5655S	111,6969	1284896,8	22963
30	5452314UF5655S	109,6004	1282735,2	22494,1
31	5452314UF5655S	213,2396	1283461,8	43789,6
32	5452314UF5655S	174,144	1283247,8	35755,2
33	5452315UF5655S	201,4908	1283382,4	41374,4
34	4848902	337,5001	1283079,1	69286,3
35	4848902	156,3267	1283250,5	32097
36	4848902	33,41135	1284596,3	6867,22
37	4848902	26,48664	1281118,8	5429,2
38	4848902	23,00522	1284269,1	4727,18
39	4848902	12,85374	1293025,8	2659,24
40	5554119UF5655S	249,1518	1283956,2	51184
41	5554119UF5655S	19,10466	1283716,2	3923,99
42	5554118UF5655S	298,909	1282707,3	61346
43	5554117UF5655S	297,6305	1283250,3	61109,5
44	5554116UF5655S	114,4355	1282898,5	23489,5
45	5554116UF5655S	111,424	1283324,6	22878,9
46	5554115UF5655S	100,9828	1282547,7	20722,4
47	5554115UF5655S	24,32528	1284109,9	4997,81
48	5554120UF5655S	67,09195	1282824,1	13770,7
49	5554120UF5655S	50,1221	1280998,7	10273
50	5554121UF5655S	59,32499	1284069,4	12188,4
51	5554121UF5655S	12,36736	1286272,5	2545,25
52	5554109UF5655S	87,21245	1283770	17913,7
53	5554109UF5655S	39,29288	1282769,5	8064,59
54	5554111UF5655S	78,76656	1283165,3	16171,3
55	5554111UF5655S	27,49814	1288286,7	5668,08
56	5554112UF5655S	0	<Nulo>	0
57	5554112UF5655S	20,37434	1286526,9	4193,94
58	5554112UF5655S	10,01342	1283623,9	2056,56
59	5554112UF5655S	47,87969	1265105,4	9691,66
60	5554112UF5655S	100,4074	1285206,4	20647,1
61	5554112UF5655S	13,20055	1282694,4	2709,16
62	1	6548,89	0	1344819

## 03.- Anexo III. Planos

### Índice de planos

1. Modelo Digital de Superficies.....	119
2. Modelo Digital de Superficies de Edificación.....	120
3. Mapa de pendiente de las cubiertas.....	121
4. Mapa de orientación de las cubiertas.....	122
5. Mapa de pérdidas según el CTE.....	123
6. Mapa de sombras.....	124
7. Mapa de zonas válidas según pérdidas y sombras.....	125
8. Digitalización manual de las naves.....	126
9. Mapa de radiación global anual (kWh/m <sup>2</sup> ).....	127
10. Mapa de superficie útil por paño (m <sup>2</sup> ).....	128
11. Mapa de potencia por paño (kWp).....	129
12. Mapa de energía anual por paño (kWh).....	130



**Leyenda**

**Modelo Digital de Superficies (m)**

**Valor**

Alto : 75,389

Bajo : 33,825

Denominación: Modelo Digital de Superficies	
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por: Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 1
Fecha: 10/06/2023	



**Leyenda**  
**Modelo Digital de Superficies de Edificación (m)**

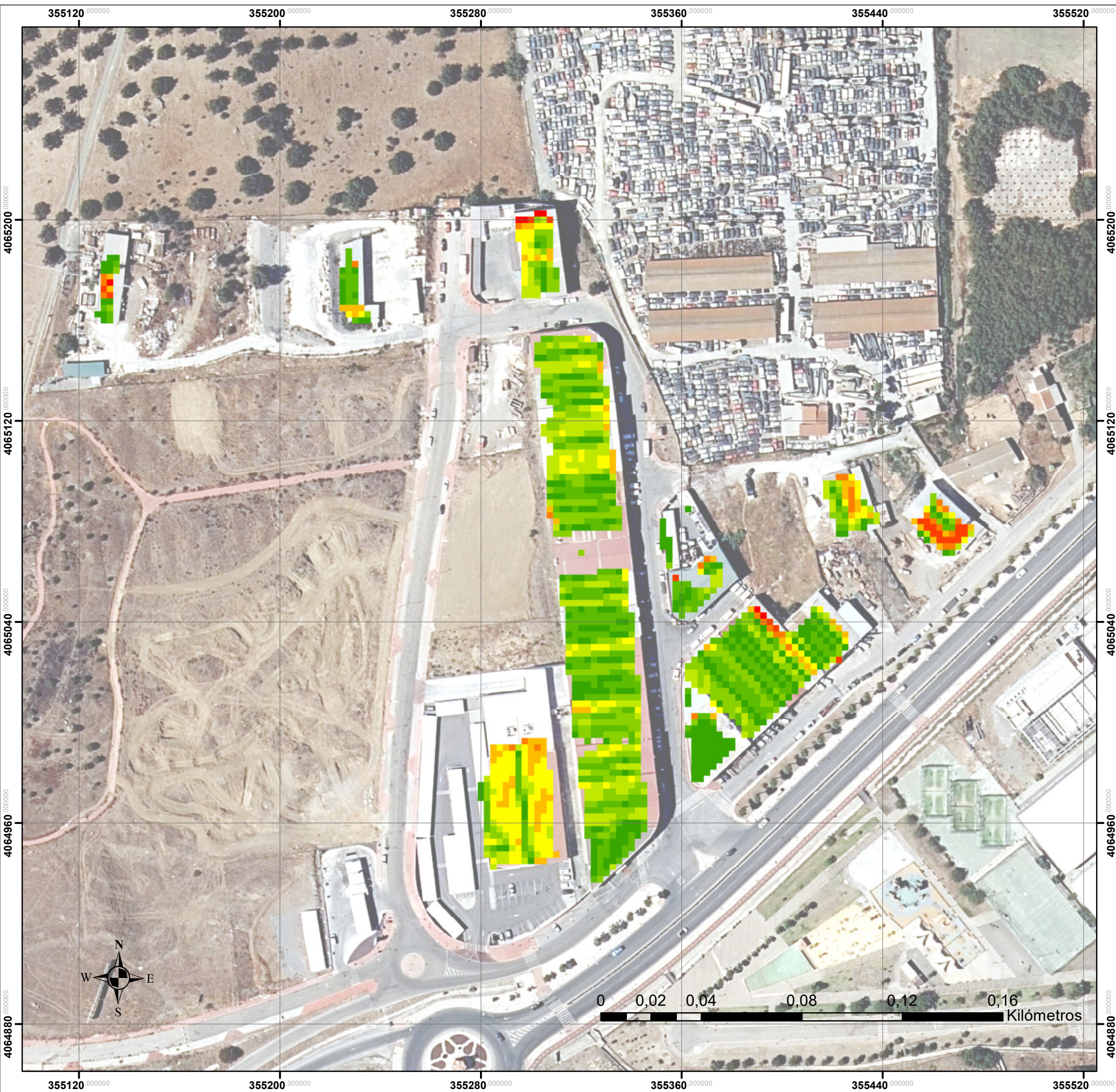
**Valor**

Alto : 13,2

Bajo : 0,3



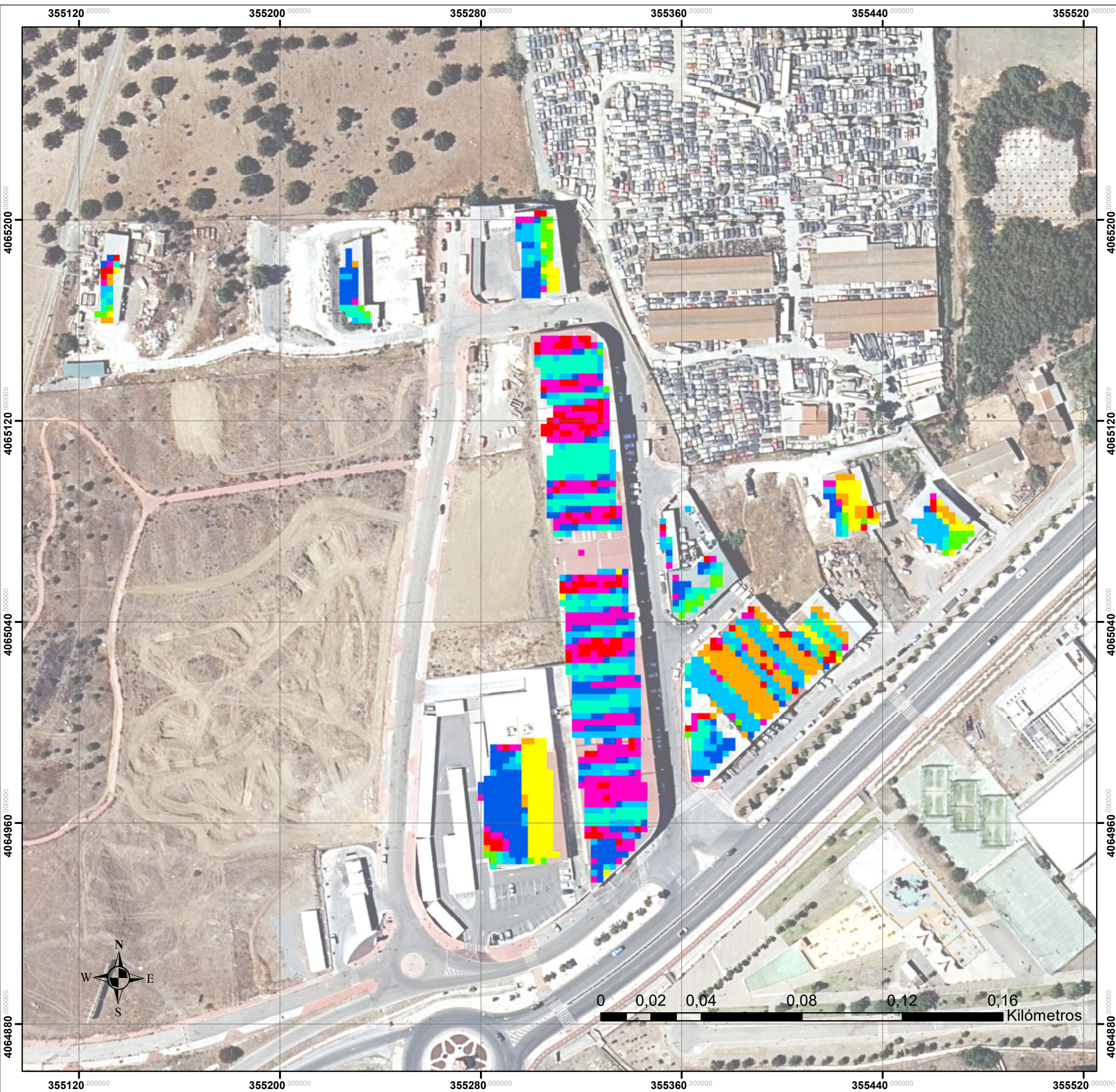
Denominación:	Modelo Digital de Edificación	
Situación:	Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por:	Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 2	Fecha: 10/06/2023



**Leyenda**  
**PENDIENTE CUBIERTA (Grados)**  
**<VALOR>**

- 0 - 4
- 4 - 7
- 7 - 10
- 10 - 13
- 13 - 17
- 17 - 23
- 23 - 31
- 31 - 43
- 43 - 63

Denominación:		Mapa de pendiente de las cubiertas
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)		
Realizado por: Beatriz Santaella García		
Escala: 1:1.500	Plano: 3	Fecha: 10/06/2023



**Leyenda**

**ORIENTACIÓN CUBIERTA**

**<VALOR>**

- Norte
- Nordeste
- Este
- Sudeste
- Sur
- Sudoeste
- Oeste
- Noroeste
- Norte

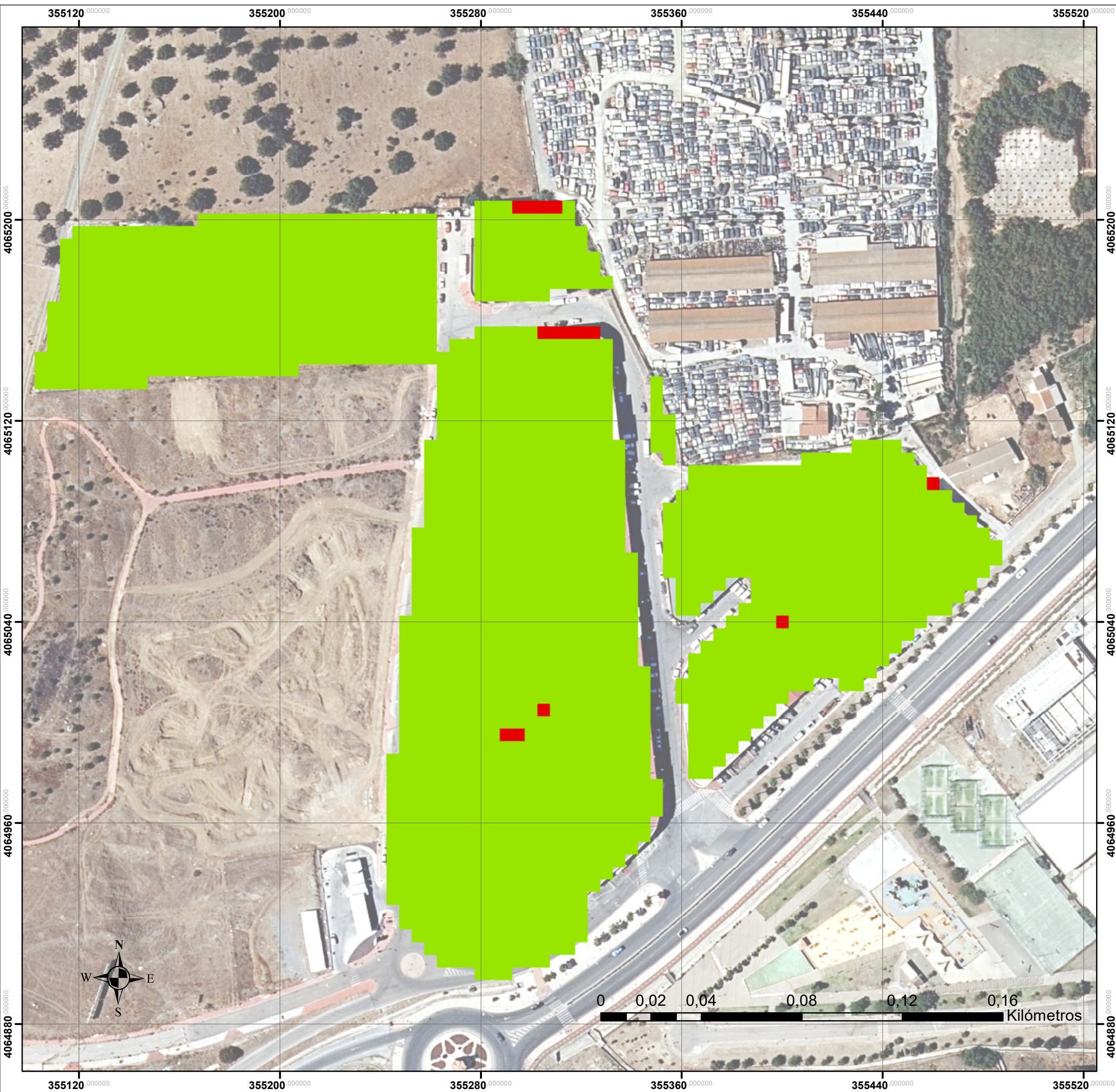
Denominación:		Mapa de orientación de las cubiertas
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)		
Realizado por: Beatriz Santaella García		
Escala: 1:1.500	Plano: 4	Fecha: 10/06/2023



**Leyenda**  
**Mapa de pérdidas según el CTE**

- Pérdidas > 20%
- Pérdidas < 20%

Denominación:		Mapa de pérdidas según el CTE
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)		
Realizado por: Beatriz Santaella García		
Escala: 1:1.500	Plano: 5	Fecha: 10/06/2023



**Leyenda**  
**Mapa de sombras**

■ Con sombra

■ Sin sombra

Denominación:	Mapa de sombras	
Situación:	Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por:	Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 6	Fecha: 10/06/2023

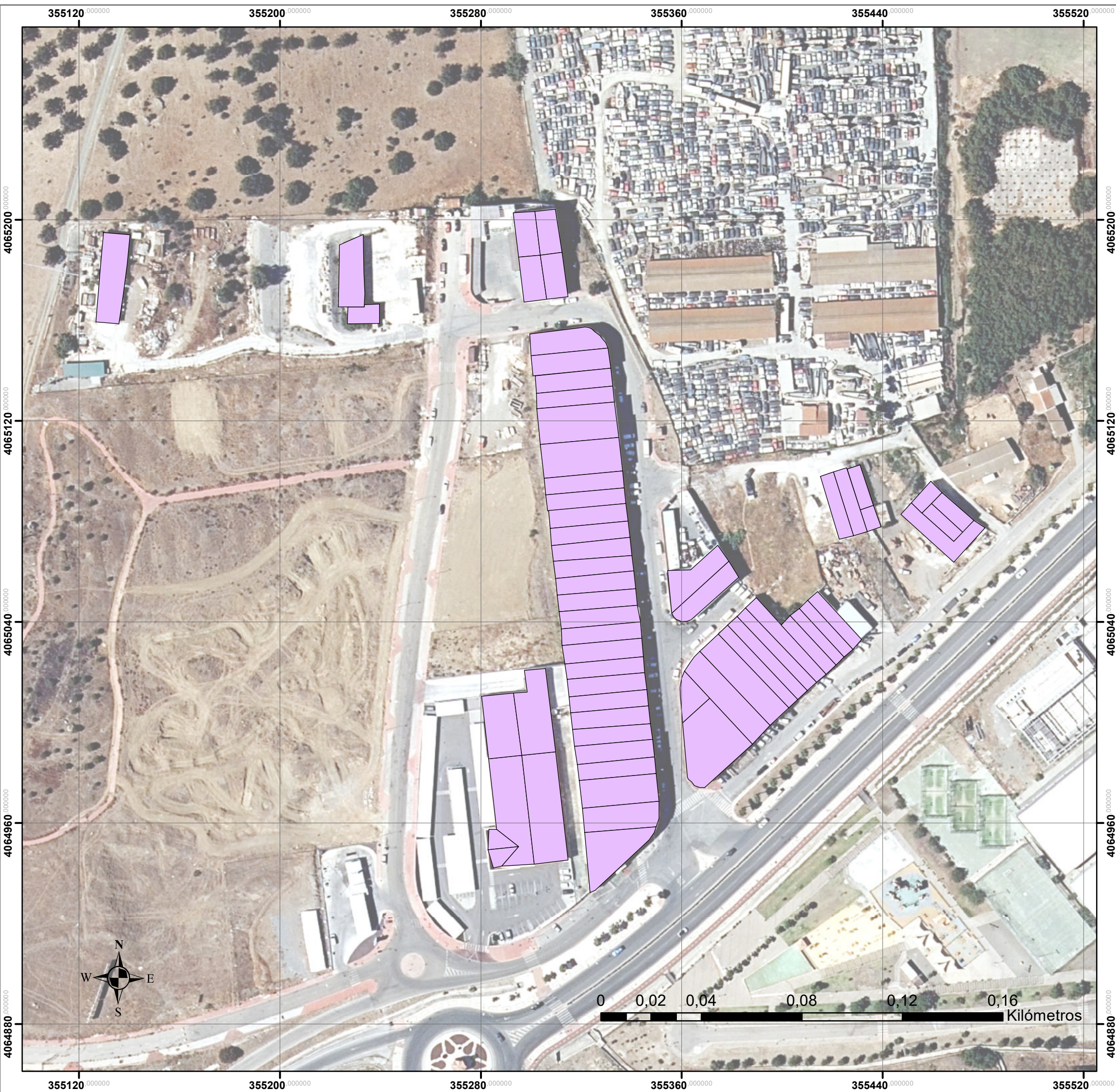


**Leyenda**  
**Mapa de zonas válidas según pérdidas y sombras**

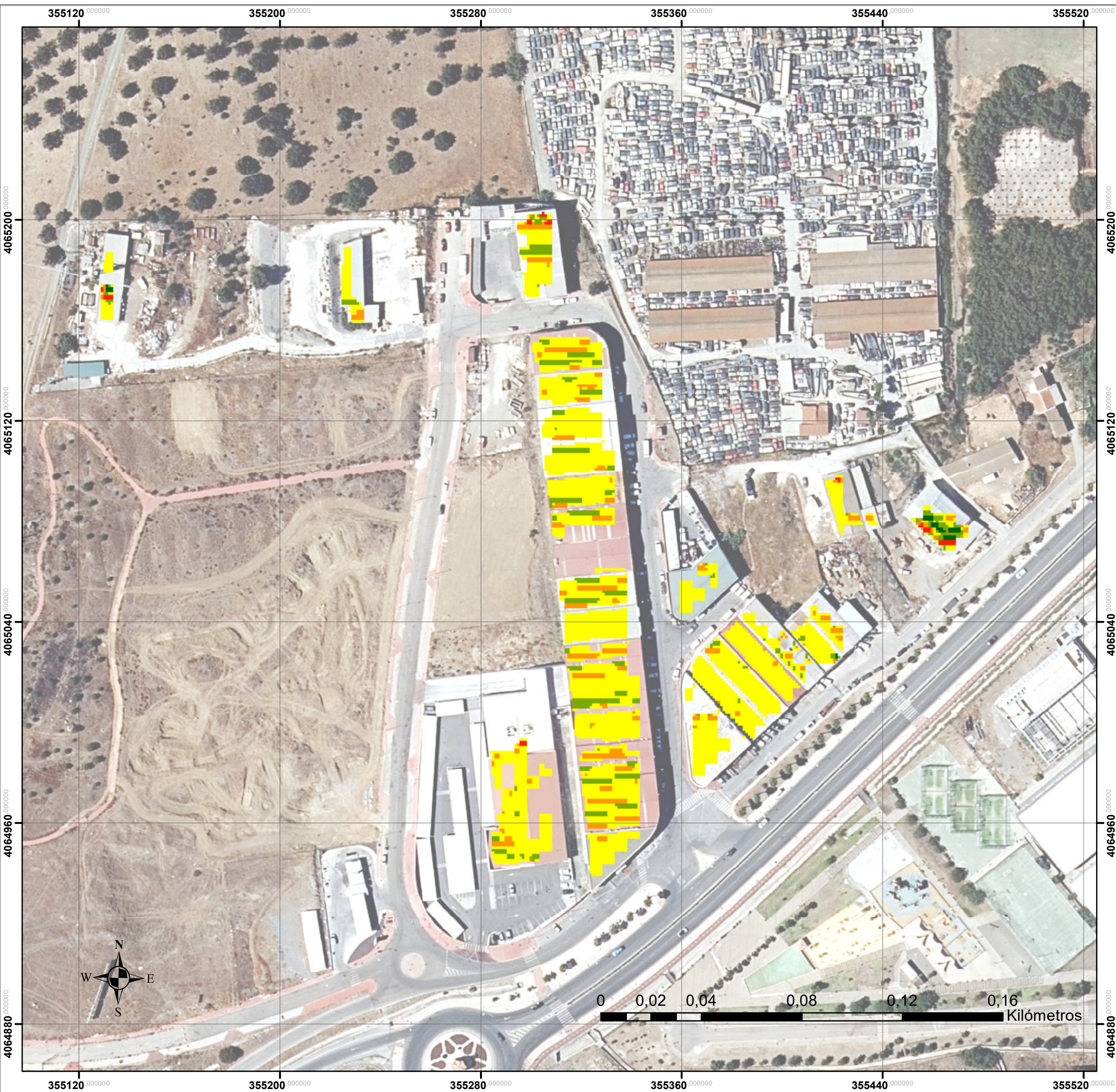
■ No válido

■ Válido

Denominación: Mapa de zonas válidas	
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por: Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 7
Fecha: 10/06/2023	



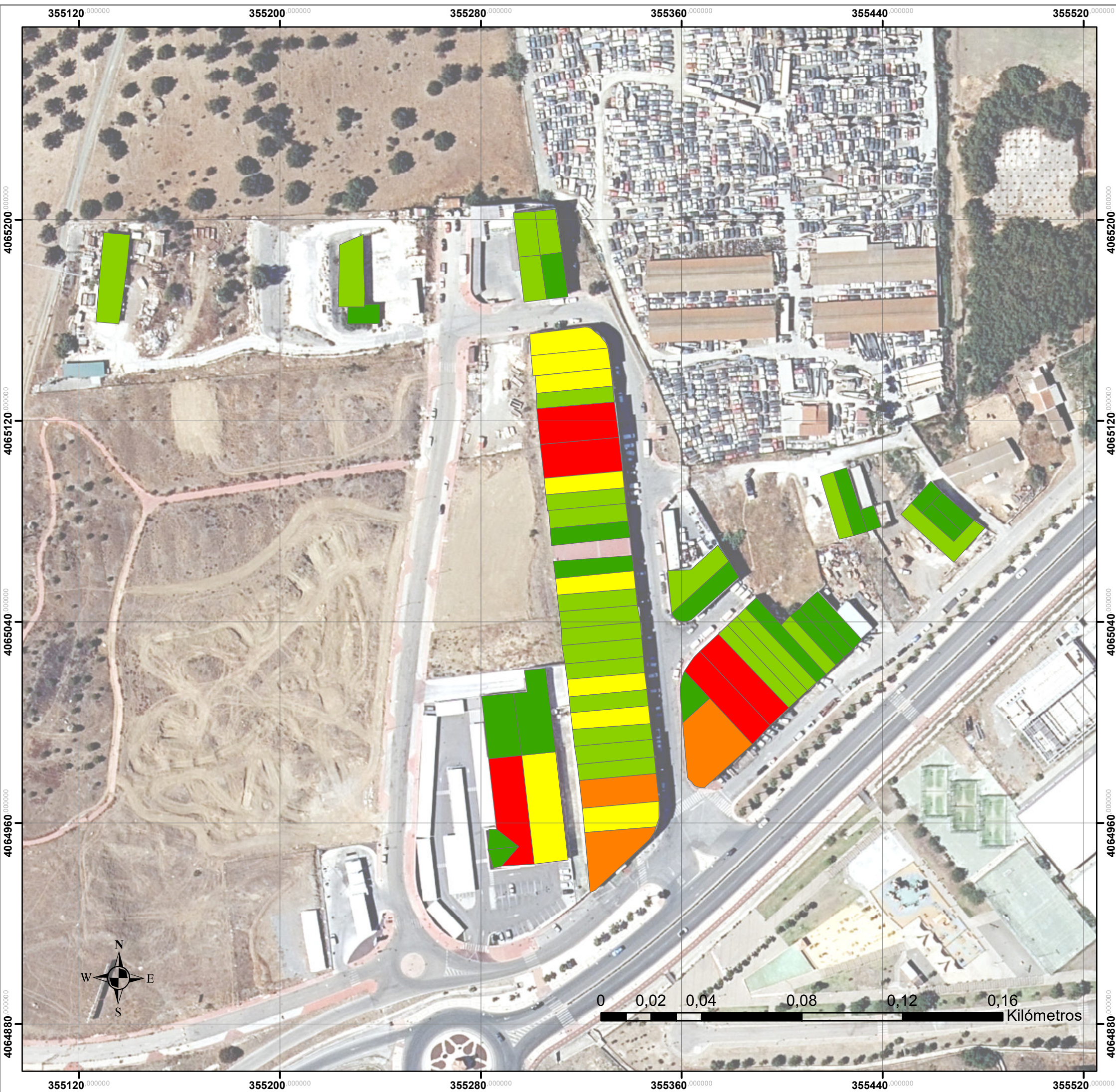
Denominación:	Digitalización manual de las naves	
Situación:	Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por:	Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 8	Fecha: 10/06/2023



**Leyenda**  
**Radiación global anual (kWh/m2)**  
**<VALOR>**

- 1.177 - 1.255
- 1.255 - 1.280
- 1.280 - 1.285
- 1.285 - 1.306
- 1.306 - 1.399

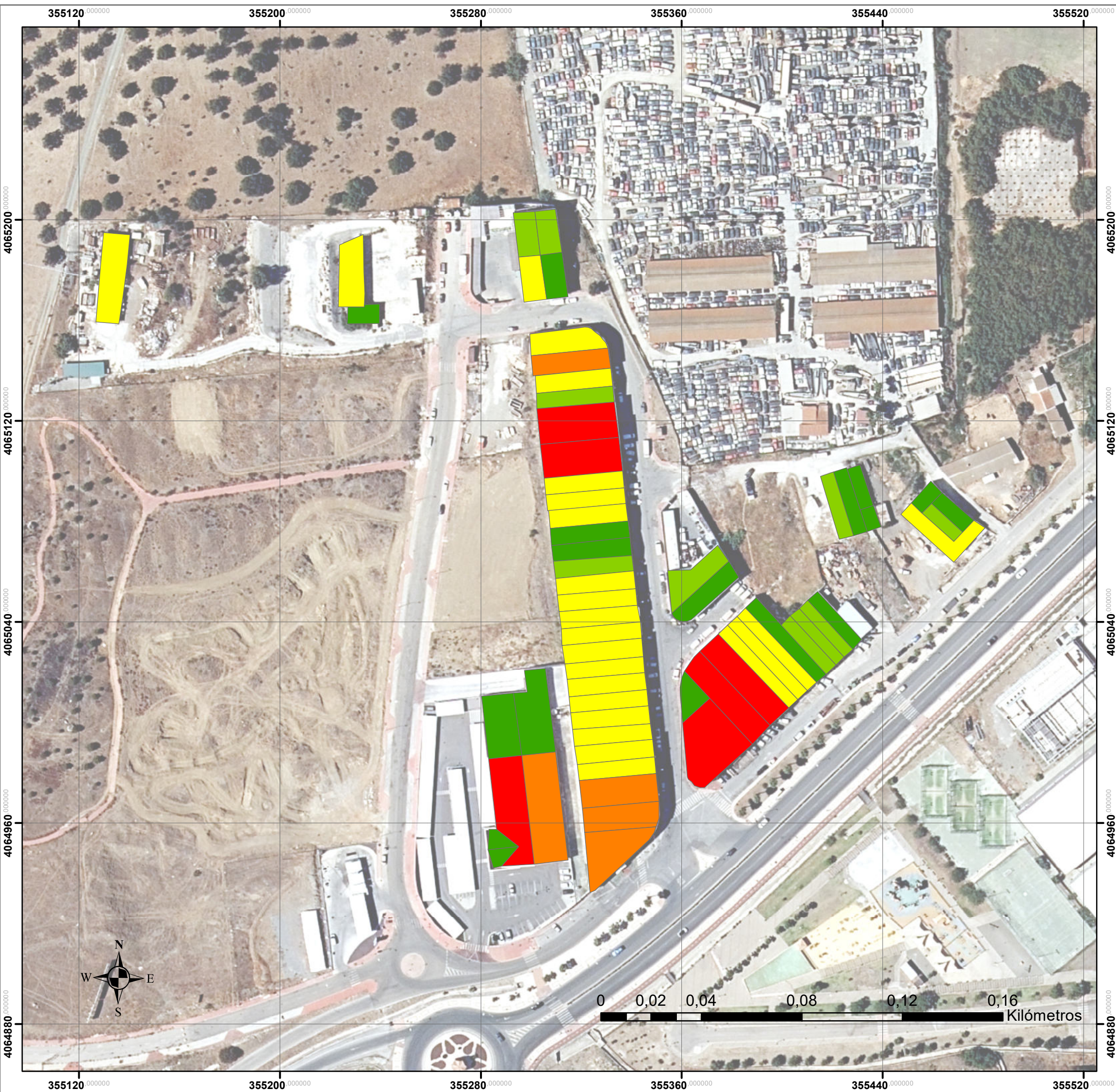
Denominación: Mapa de radiación global anual	
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por: Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 9
Fecha: 10/06/2023	



**Leyenda**  
**Superficie útil por paño (m2)**  
**AREA**

- 9 - 63
- 63- 127
- 127 - 190
- 190 - 254
- 254 - 326

Denominación:		Superficie útil por paño (m2)
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)		
Realizado por: Beatriz Santaella García		
Escala: 1:1.500	Plano: 10	Fecha: 10/06/2023

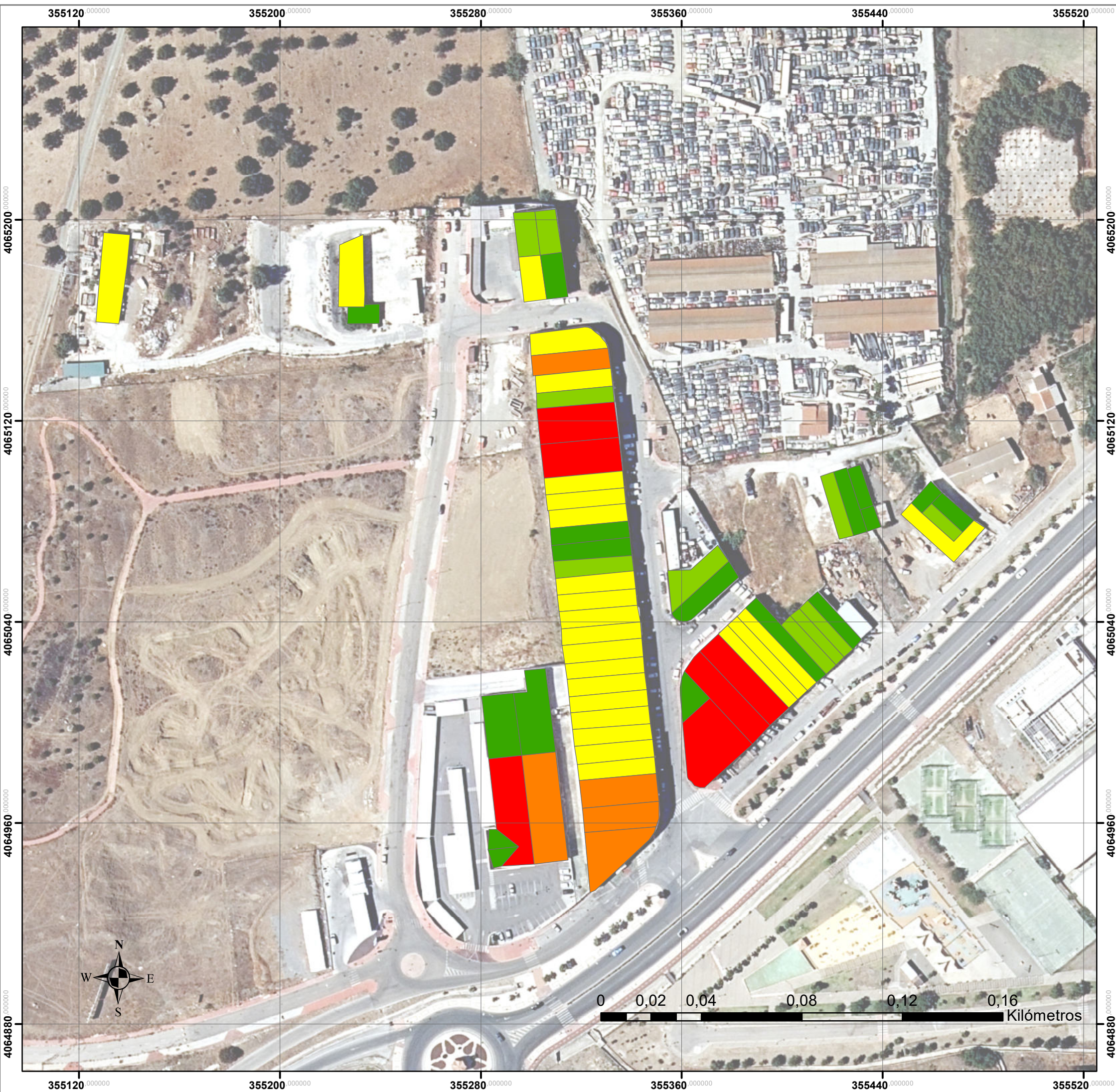


**Leyenda**

**Potencia por paño (kWp)**  
cubiertasrefcat.POTENCIA\_P

<span style="color: green;">■</span>	0 - 6
<span style="color: lightgreen;">■</span>	6 - 15
<span style="color: yellow;">■</span>	15- 24
<span style="color: orange;">■</span>	24 - 34
<span style="color: red;">■</span>	34 - 54

Denominación:	Mapa potencia por paño (kWp)	
Situación:	Polígono Industrial El Cerro (Cártama)	
Realizado por:	Beatriz Santaella García	
Escala: 1:1.500	Plano: 11	Fecha: 10/06/2023



**Leyenda**

**Energía anual por paño (kWh)**  
**cubiertasrefcat.ENERGÍA\_P**

- 0- 8065
- 8065 - 18165
- 18165 - 30163
- 30163- 43790
- 43790 - 69287

Denominación:		Mapa energía anual por paño(kWh)
Situación: Polígono Industrial El Cerro (Cártama)		
Realizado por: Beatriz Santaella García		
Escala: 1:1.500	Plano: 12	Fecha: 10/06/2023