

MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS Y REDUCCIÓN DE LA “ISLA DE CALOR” EN LAS CIUDADES DEL FUTURO.

A partir de la aportación de las cubiertas
ajardinadas y fachadas verdes.



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO | UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA | 2019-2020

AUTOR: Almudena Alarcón Ruiz

TUTOR: Salvador Gilabert Sanz

COTUTOR: David Vinué Visus

Valencia, Noviembre 2020

"El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica de todos los métodos."

Antonio Gaudí

RESUMEN

En el presente trabajo se aborda el análisis del efecto “**isla de calor**” en las grandes ciudades. En concreto, se centraliza el problema en la ciudad de Valencia mediante el análisis de la temperatura superficial de diferentes tipologías de cubiertas existentes en lugar. Se relaciona este hecho con la sustitución de estas cubiertas por cubiertas vegetales en estos lugares, lo que lleva a una posible solución para la mitigación del cambio climático mediante una arquitectura más sostenible.

Se estudia la forma de representación gráfica de las termografías y su aplicación en la arquitectura para la sostenibilidad. Así pues, parte del estudio de la temperatura superficial de las cubiertas mediante dos sistemas: el Satélite Landsat y toma de datos mediante cámara termográfica, concretamente con el modelo Flir Vue Pro.

En primer lugar, se recogen datos en cuatro tipos de cubiertas, **cubierta tradicional** en edificio de viviendas plurifamiliar, **cubierta ajardinada** y **cubierta de teja** pertenecientes a una misma vivienda unifamiliar sostenible, y por último, **cubierta de grava**, perteneciente a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Además se caracterizan y representan los materiales y sistemas constructivos utilizados en estos tipos.

Seguidamente, recogen y analizan datos obtenidos mediante teledetección con imágenes del satélite Landsat-8; por otro lado, se recogen datos de temperatura mediante trabajo de campo con una cámara termográfica en diversas cubiertas de varios edificios y se contrastan con los obtenidos por el satélite en condiciones muy similares.

Finalmente, se explica la metodología seguida en el proceso y se exponen una serie de conclusiones obtenidas en el estudio.

Analizando los resultados obtenidos y el estudio bibliográfico realizado, se llega a la conclusión de que **una sustitución de las cubiertas tradicionales actuales por cubiertas ajardinadas, podría conllevar una reducción considerable del efecto “isla de calor” en las ciudades del futuro, sin embargo este proceso debería realizarse a gran escala para crear una zona ajardinada elevada de gran envergadura que fuera capaz de mitigar las emisiones de las actuales cubiertas al medio ambiente.**

Palabras clave: isla de calor, cubierta ajardinada, Landsat,

ABSTRACT

In this work, the analysis of the "heat island" effect in large cities is addressed. Specifically, the problem is centralized in the city of Valencia by analyzing the surface temperature of different types of roofs existing in that place. This issue is related to the replacement of these roofs by green roofs in these places, which leads to a possible solution for the mitigation of climate change through a more sustainable architecture.

It starts with the study of the visual representation of thermal images and its application to green architecture. In addition to the study of the surface temperature of the roofs through two systems: the Landsat Satellite and data collection with a thermographic camera, specifically with the Flir Vue Pro model.

Firstly, data is collected in four types of roofs: traditional roof in a multi-family housing building, garden roof and tile roof belonging to the same sustainable family dwelling, and finally, gravel roof, belonging to Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Moreover, materials and construction systems used in these roof types are characterized and represented.

Next, data obtained through remote sensing with Landsat-8 satellite images are collected and analyzed; temperature data are collected through field work with a thermographic camera on several roofs of many buildings and are contrasted with those obtained by the Landsat Satellite in similar conditions.

Finally, the methodology followed in the process is explained and a series of conclusions obtained in this study are presented.

Analyzing the results obtained and the bibliographic study carried out, it is concluded that the substitution of the current traditional roofs by landscaped roofs could entail a considerable reduction of the "heat island" effect in the cities of the future. However, this process should be carried out on a large scale in order to create an elevated landscaped area of great importance that would be able of mitigating the emissions of the current roofs into the environment.

Key words: heat island, green roof, Landsat.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, apoyo incansable del día a día.

A mi madre, Fina, por el ánimo y amor que me aporta en cada nuevo proyecto; y a mi padre, Juan, por ser mi mayor referente y mi ejemplo a seguir. A Emilio y Salvi y a mis abuelos, Carmen y Pedro, por el interés y la ayuda constante haya sido o no necesaria. Pero sobre todo, a mis hermanos; Lidia, por enseñarme a ver el lado positivo de cada caída y a Iván, por no dejarme caer y ayudarme a crecer con cada paso. Estoy segura de que la vida sin vosotros dos no sería ni la mitad de bonita.

A mi segunda familia, Marta, Marina y Cristina, por las charlas a deshoras en los momentos difíciles y las cervezas en las terrazas recordando los mejores momentos.

A mis amigos, por no dudar nunca de mí y ser un pilar fundamental en el desarrollo de esta carrera.

Agradecer a mis tutores Salva y David, el apoyo y la orientación para encaminar este TFG y la confianza en mí para realizarlo.

En definitiva, gracias a todas las personas que me han hecho este camino más fácil y que en algún momento me han dado una pequeña oportunidad para que hoy esté un poquito más cerca del objetivo final.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
DESARROLLO	13
1.1. INTRODUCCIÓN	13
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.3. METODOLOGÍA	15
CAPÍTULOS	16
2.1. PROBLEMÁTICA DE LA ISLA DE CALOR URBANA	16
2.1.1. Definición del concepto “Isla de Calor Urbana”	16
2.1.2. Caracterización de la problemática de la Isla de Calor Urbana en la ciudad de Valencia. .	18
2.2. MEDICIÓN DE LA ISLA DE CALOR.....	20
2.2.1. Satélites relacionados con la medición de fenómenos naturales	20
2.2.2. Parámetros de medición.....	23
2.3. MEDICIÓN DE LA ICU EN DIFERENTES CIUDADES	25
2.3.1. CONFORT URBANO	25
ESTUDIOS REALIZADOS EN CIUDADES	26
2.4. Landsat 8.....	28
2.4.1. Lanzamiento Landsat 8	28
2.4.2. Sensores OLI y TIRS	30
2.4.3. Procesado de imágenes Landsat	32

2.5.	PROPUESTA para la mitigación de las islas de calor	35
2.5.1.	Aplicación a nivel arquitectónico.....	36
2.6.	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO	38
EXPERIENCIAS. TRABAJO DE CAMPO.....		40
3.1.	MEDICIÓN DE TEMPERATURAS EN CUBIERTAS.	40
	EXPERIENCIA 1	40
	INTRODUCCIÓN	40
	OBJETIVOS EXP. 1.....	40
	HIPÓTESIS EXP. 1.....	40
	METODOLOGÍA EXP. 1	41
	RESULTADOS OBTENIDOS EXP. 1	43
	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS DE LA EXP.1.....	75
3.2.	MEDICIÓN DE TEMPERATURAS MEDIANTE EL SATÉLITE LANDSAT-8. EXPERIENCIA 2	77
	INTRODUCCIÓN	77
	OBJETIVOS	77
	HIPÓTESIS	77
	METODOLOGÍA EXP. 2	78
	RESULTADOS OBTENIDOS EXP. 2	81
	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS DE LA EXP. 2.....	96
CONCLUSIONES.....		97
BIBLIOGRAFÍA		98
ANEXOS.....		100

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1. Diagrama del efecto isla de calor urbana en una ciudad tipo. (Skopje Lab, 2018)

Imagen 2. Esquema gráfico del funcionamiento de diferentes tipos de sensores óptico-electrónicos (Universidad de Murcia, 2003)

Imagen 3. Ejemplo de imagen de análisis de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona mediante isoterma. (Carreras, et al, 1990)

Imagen 4. Ejemplo de imagen de análisis de la isla de calor urbana en la ciudad de Madrid mediante imágenes satelitales. (Sobrino, 2009)

Imagen 5. Esquema de Landsat 8 (Poursanidis, et al., 2015)

Imagen 6. Ejemplo de la técnica pansharpening (Gis&Beers, 2018)

Imagen 7. Esquema de la estructura general de una cubierta vegetal ajardinada. (Lafarge, 2013)

Imagen 8. Esquema de propuesta de extrapolación de jardines urbanos a las cubiertas de los edificios de la ciudad (Stanley Eales)

Imagen 9. Fotografía general de las cubiertas 1 y 2. Elaboración propia

Imagen 10. Fotografía de detalle de la cubierta 1. Zona en sombra y en sol.

Imagen 11. Encuentro entre cubierta 1 y cubierta 2. Elaboración propia.

Imagen 12. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 1. El punto MC1-C se sitúa detrás de las placas solares. Elaboración propia.

Imagen 13. Señalización de puntos de estudio en la superficie interior de la cubierta 1. Elaboración propia.

Imagen 14. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 15. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC1-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 16. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 17. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC1-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 18. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 19. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC1-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 20. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 21. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC1-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 22. Fotografía de detalle de la cubierta 2. Elaboración propia.

Imagen 23. Encuentro entre cubierta 1 y cubierta 2. Elaboración propia.

Imagen 24-A. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 2. Elaboración propia.

Imagen 24-B. Señalización de puntos de estudio en la superficie interior de la cubierta 2. Elaboración propia.

Imagen 25. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 26. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC2-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 27. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 28. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC2-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 29. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 30. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC2-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 31. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 32. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC2-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 33. Fotografía general de la cubierta 3. Elaboración propia.

Imagen 34. Fotografías de detalle de la cubierta 3. A la izquierda, zona de grava y a la derecha zona pavimentada de piedra de color beige. Elaboración propia.

Imagen 35. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 3. Elaboración propia

Imagen 36. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 37. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC3-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 38. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 39. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC3-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 40. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 41. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC3-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 42. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 43. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC3-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 44. Fotografía general de la cubierta 4. Elaboración propia.

Imagen 45. Fotografía de detalle de la cubierta 4. Elaboración propia.

Imagen 46. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 4. Elaboración propia.

Imagen 47. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC4-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 48. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC4-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 49. Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC4-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 50. Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35- 50°C, correspondiente al punto MC4-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

Imagen 51. Acotación de la zona de estudio en la ciudad de Valencia para obtener las imágenes satelitales de Landsat- 8 con “Earth-Explorer”. Elaboración propia.

Imagen 52. Captura de pantalla de la plataforma “Earth-Explorer” referente a la huella de la zona de análisis. Elaboración propia.

Imagen 53. Recopilación de imágenes térmicas de Landsat de las Bandas 1 a 11. Elaboración propia.

Imagen 54. Información parcial contenida en el Anexo. Elaboración propia.

Imagen 55. Información parcial contenida en el Anexo. Elaboración propia.

Imagen 56-A. Datos obtenidos sobre el estado de la atmósfera terrestre el día 31/07/2020 para realizar los ajustes necesarios en las imágenes termográficas. Plataforma web “<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>”

Imagen 56-B. Gráficas generadas por la plataforma web proporcionada por la NASA en referencia al estado de la atmósfera el día 31/07/2020 para la corrección atmosférica. <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

Imagen 57. Zona de actuación aproximada. Ubicación de las cubiertas 3 y 4 y localización de la zona centro de la ciudad y de la zona de huerta colindante en la ciudad de Valencia. Elaboración propia a partir de imagen obtenida de Google Maps.

Imagen 58. Imágenes del proceso de análisis de resultados mediante la herramienta informática ENVI. 4.5.

Imagen 59. Palea de temperaturas procesada con ENVI4.5. Puntos interesantes de estudio en la zona. Obsérvese la diferencia de temperaturas entre el mar y los polígonos industriales. Elaboración propia.

Imagen 60. Zona analizada térmicamente con perfil en orientación Este-Oeste (perfil 4) a partir de imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8. Elaboración propia.

Imagen 61. Gráfica obtenida a partir del perfil de temperatura 4 de la imagen 60. Elaboración propia.

Imagen 62. Zona analizada térmicamente con perfil en orientación Este-Oeste (perfil 5) a partir de imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8. Elaboración propia.

Imagen 63. Gráfica obtenida a partir del perfil de temperatura 5 de la imagen 62. Elaboración propia.

Imagen 64. Zona analizada térmicamente con perfil en orientación Este-Oeste (perfil 3) a partir de imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8. Elaboración propia.

Imagen 65. Gráfica obtenida a partir del perfil de temperatura 3 de la imagen 64. Elaboración propia.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de albedo y emisividad de superficies. (Ochoa, 1999).

Tabla 2. Bandas espectrales del satélite Landsat 8 (EOS, 2013).

Tabla 3. Temperaturas medidas en Cubierta 1. Elaboración propia.

Tabla 4. Temperaturas medidas en Cubierta 2. Elaboración propia.

Tabla 5. Tabla 5. Temperaturas medidas en Cubierta 3. Elaboración propia.

Tabla 6. Temperaturas medidas en Cubierta 4. Elaboración propia.

ABREVIACIONES

ICU. Isla de Calor Urbana

ICUA. Isla de Calor Urbana Atmosférica

ICUS. Isla de Calor Urbana Superficial

OLI. Operational Land Imager

TIRS. Thermal Infrared Sensor

NASA. National Aeronautics and Space Administration

USGS. United States Geological Survey

Exp. 1. Experiencia 1

Exp. 2. Experiencia 2

Cub. 1. Cubierta 1

Cub. 2. Cubierta 2

Cub. 3. Cubierta 3

Cub. 4. Cubierta 4

CUERPO TEÓRICO

DESARROLLO

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las ciudades se definen por una gran masificación de su superficie, ocupada principalmente por construcciones urbanas con coberturas de materiales reflectantes (aluminio, cemento, asfalto, etc) que junto con la actividad que se desarrolla en ellas como el tráfico o la emisión de gases contaminantes, genera el conocido como efecto “isla de calor”. Este fenómeno se ha analizado en numerosos estudios mediante teledetección, de tal forma que se ha caracterizado como uno de los causantes del cambio climático a nivel mundial.

De igual forma, se han realizado investigaciones con el fin de encontrar soluciones o formas de mitigar esta problemática, llegando a diversas conclusiones aún en vías de desarrollo. Algunas de ellas, relacionan el comportamiento de las cubiertas y fachadas ajardinadas situadas en el centro urbano con este efecto, ya que la emisividad de esta tipología de cubierta es más reducida que la de las cubiertas tradicionales con acabados rígidos. Este hecho se puede asemejar a la comparación del efecto isla de calor en el centro urbano respecto al mismo efecto en zona rural, donde la superficie tiene una emisividad mucho más reducida, reduciéndose por tanto el calentamiento del planeta.

En este TFG, se pretende abordar la problemática de la isla de calor desde su análisis a nivel global mediante un estudio bibliográfico, realizar los análisis y representaciones gráficas de los mismos así como así como la focalización y aplicación en una zona concreta de Valencia a partir de la obtención de imágenes satelitales (Landsat-8) y la definición del comportamiento térmico (imágenes obtenidas con cámara termográfica) de diferentes tipologías de cubiertas situadas en centro urbano y en zona rural de la Comunidad Valenciana.

Así pues, se busca obtener conclusiones respecto a la influencia de diferentes tipos de cubiertas en el efecto isla de calor, en la zona urbana de la ciudad de Valencia.

1.2. OBJETIVOS

Los objetivos generales que se plantean en la realización de este TFG son los siguientes (teniendo una serie de objetivos específicos en cada experiencia de campo realizada):

- a) Analizar el comportamiento de diferentes tipologías de cubiertas en condiciones climáticas similares.
- b) Determinar la influencia de las cubiertas ajardinadas en el efecto isla de calor en una zona concreta de la ciudad de Valencia; y así, obtener conclusiones que relacionen la influencia de las cubiertas analizadas con el efecto isla de calor en la zona de estudio.

Con el fin de obtener estos objetivos generales, se han definido una serie de objetivos parciales:

- a) Utilizar la cámara termográfica Flir Vue Pro para el análisis de las condiciones de temperatura de las superficies de las cubiertas de estudio.
- b) Procesar y analizar imágenes térmicas obtenidas mediante el satélite Landsat-8 para comparar la emisividad de diferentes superficies en la ciudad de Valencia.
- c) Caracterización gráfica de los datos recogidos.

1.3. METODOLOGÍA

- a) Análisis bibliográfico mediante dos métodos de búsqueda intentando llevar a cabo el proceso con la mayor eficiencia posible. Por un lado, se ha realizado una primera búsqueda general sobre la isla de calor utilizando buscadores científicos como "SciELO" o "Dialnet". Una vez obtenidos los documentos y páginas web se ha realizado una búsqueda utilizando palabras clave. Por otro lado, también se ha partido de una serie de referencias incluidas en documentos con los que se contaba anteriormente al inicio de la investigación. Este análisis bibliográfico se ha llevado a cabo a partir de documentos y páginas web tanto en castellano como en inglés.
- b) Clasificación de referencias en un primer orden según su contenido general. Posteriormente, tras la redacción de un índice de trabajo se han reclasificado en función de ese proceso de desarrollo.
- c) Estudio del funcionamiento de los instrumentos necesarios para llevar a cabo las experiencias de campo 1 y 2. Es decir, en primer lugar, se ha investigado el funcionamiento de la cámara termográfica Flir Vue Pro, así como las herramientas informáticas para el procesado de imágenes obtenidas, realizando ensayos de prueba y error antes de la toma de datos definitiva. Por otro lado, se ha estudiado el funcionamiento del satélite Landsat-8, a rasgos generales, con el fin de conocer el proceso desde la obtención de las imágenes hasta las características de las mismas. Además, se ha analizado el sistema de ajuste de las imágenes satelitales, sin profundizar en métodos de programación, pero con suficiente intensidad como para conocer el proceso y poder obtener conclusiones.
- d) Realización de las experiencias 1 y 2. Para ello, se han concretado unas fechas adecuadas para la toma de datos de la Experiencia 1 en función de la fecha en la que el satélite realiza la toma de imágenes para la Experiencia 2. Para la experiencia 1 se han realizado 3 visitas a 3 lugares diferentes: por un lado, una primera visita el 29 de julio de 2020 al municipio de Carcaixent (Valencia) para la toma de datos en la cubierta 1 y 2 y por otro lado, dos visitas los días 19 y 20 de septiembre de 2020 para la toma de datos de las cubiertas 3 y 4, respectivamente.
En un proceso paralelo a la toma de datos de la Experiencia 1, se ha realizado la obtención de las imágenes de la Experiencia 2, así como su procesado y análisis.
- e) Análisis de los resultados obtenidos en ambas experiencias y extracción de conclusiones.

CAPÍTULOS

2.1. PROBLEMÁTICA DE LA ISLA DE CALOR URBANA

2.1.1. Definición del concepto "Isla de Calor Urbana".

Se puede definir el concepto "Isla de Calor Urbana" (en adelante ICU), como el "fenómeno de variación térmica provocado por la diferencia de temperatura existente entre una zona urbana densamente edificada y su entorno rural más próximo" (Imagen 1). Domínguez Bascón, profesor de Geografía en la Universidad de Córdoba, focaliza la causa de la ICU en 3 factores: la producción directa de calor por combustión, la radiación que es devuelta a la superficie terrestre por reflexión en la capa de impurezas atmosféricas y el desprendimiento gradual del calor almacenado durante el día en construcciones hechas con materiales contaminantes. Esto último provoca que este efecto sea especialmente notable en el periodo nocturno.

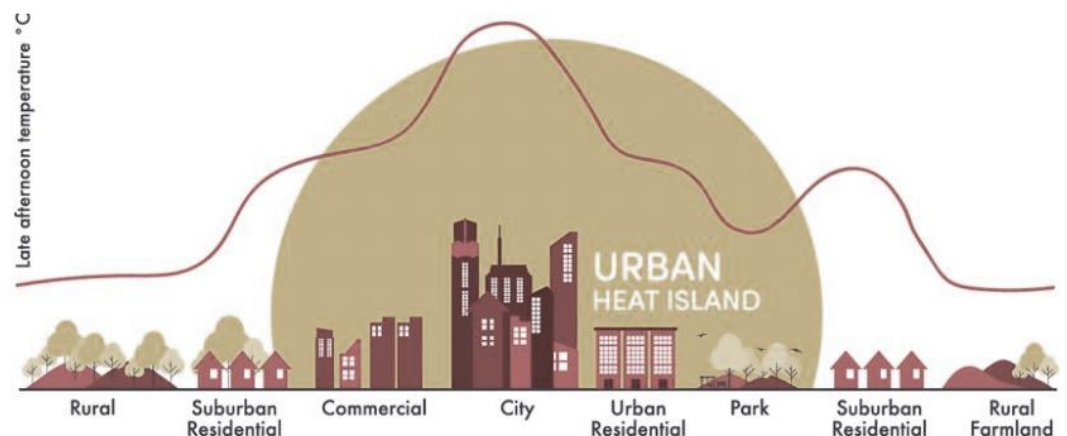


Imagen 1. Diagrama del efecto isla de calor urbana en una ciudad tipo. Obsérvese como la temperatura ambiente aumenta proporcionalmente con la densidad de población y con la concentración de edificios en el centro urbano, siendo más reducida en las zonas rurales colindantes a la ciudad. (Skopje Lab, 2018).

Es importante tener en cuenta, que la ICU se puede clasificar en dos subtipos generales: isla de calor urbana superficial (ICUS) e isla de calor urbana atmosférica (ICUA). Por un lado, la ICUS abarca la diferencia de temperaturas de las superficies relacionadas directamente con el centro urbano, es decir, zonas pavimentadas, superficies ajardinadas, incluso terrazas de edificios. Sin embargo, la ICUA se relaciona con la diferencia de temperatura entre el aire ambiente de la zona urbana y de la zona rural (Domínguez, 2002); a su vez, como menciona Moreno García en su estudio sobre dicho fenómeno (Moreno, 2016), varios autores subdividen la ICUA en dos subtipos, diferenciando entre "isla de calor del palio urbano" e "isla de calor de la capa límite urbana": la primera, referida a la masa de aire más cercana a la superficie de las ciudades hasta un rango de 20-30 metros de altura; la segunda, desde dicho punto donde acaba el palio urbano hasta la zona de la atmósfera que ya no se ve influenciada por los cambios térmicos provocados por la ciudad, en torno a 1 km o 1,5km de altura (Moreno, 2017).

Cabe destacar, que este TFG aborda únicamente la caracterización y el estudio de la isla de calor urbana superficial (ICUS) mediante el análisis de los valores de emisividad procesados a partir del satélite Landsat-8 en una parte de la zona urbana de la ciudad de Valencia así como la representación de los datos gráficos obtenidos.

2.1.2. Caracterización de la problemática de la Isla de Calor Urbana en la ciudad de Valencia.

Uno de los grandes problemas del cambio climático global es la masificación de las grandes ciudades debido al aumento de población y a la constante actividad que en ellas se lleva a cabo. Los gases contaminantes producidos por automóviles e industria son una de las causas del aumento de temperatura y del efecto isla de calor, sin embargo, como ya se ha mencionado en el apartado anterior, la ICU también viene provocada por la emisión de calor por parte de los materiales contaminantes utilizados en las construcciones. Este último hecho será objeto de estudio en este TFG a partir del análisis de imágenes mediante el satélite Landsat 8 y su comparación con el estudio de la emisión directa de calor de diferentes tipologías de cubiertas.

Durante el día, los materiales presentes en las edificaciones como pavimentos duros y de colores oscuros así como los materiales de acabado de las cubiertas de los edificios, tipo asfalto, cemento y hormigón, absorben calor que transcurrido un tiempo, en el periodo nocturno devolverán al ambiente, generando el efecto isla de calor urbana superficial, especialmente notable por la noche.

"La isla de calor de zonas urbanas evidencia el impacto del hábitat construido sobre el medio físico y el aumento de temperatura que produce (...) La mayoría de las emisiones de gas de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. Por consiguiente, estas emisiones contribuyen a las condiciones del tiempo a escala local y global, y también a la modificación del clima" (Rosatto, 2020).

La ciudad de Valencia (España) cuenta con un clima de la llanura aluvial septentrional, caracterizado por precipitaciones acentuadas en otoño y muy reducidas en primavera, además de una temperatura media anual en torno a 18 °C, con máximas cercanas a los 42-43°C en verano y mínimas en torno a los -5°C en invierno.

Debido a sus características urbanísticas y climáticas es un buen ejemplo de la problemática existente en referencia a la ICUS a nivel global, pues se trata de una ciudad de aproximadamente 134 km² con 2,5 millones de habitantes, que cuenta con zonas rurales próximas a su núcleo urbano, ya que se desarrolla un gran territorio de zona de huerta en torno a su territorio. Cabe también destacar que en la zona este la ciudad linda con el Mar Mediterráneo. En referencia a la tipología constructiva de la ciudad, la mayoría de los edificios construidos en el núcleo urbano cuentan cubiertas de materiales tradicionales tales como cemento, pavimento cerámico o acabado de imprimación en colores oscuros, materiales con una gran capacidad de absorción de calor. Este calor absorbido durante el día, es devuelto al ambiente durante el periodo nocturno, provocando un aumento de la temperatura en la ciudad y fortaleciendo el efecto isla de calor.

El conjunto de todos estos elementos tales como la cantidad de habitantes por m², la gran cantidad de cubiertas con materiales contaminantes existentes y la humedad del ambiente, provoca que Valencia presente una de las islas de calor más intensas de España (Lozano, 2010).

2.2. MEDICIÓN DE LA ISLA DE CALOR

2.2.1. Satélites relacionados con la medición de fenómenos naturales

Para entender el campo de la medición con satélites o teledetección, conviene conocer el funcionamiento de un satélite y diferenciar entre qué es una plataforma y qué es un sensor para entender los instrumentos de trabajo en el proceso desde la medición de la radiación hasta el procesado de imágenes y conclusiones obtenidas.

Una **plataforma** es el elemento (avión o satélite) que transporta los aparatos de medición y transmisión de imágenes a distancia, es decir, los sensores. Así pues, un **sensor** es el aparato transportado por una plataforma que reúne la tecnología necesaria para captar imágenes a distancia y procesarlas; los sensores están preparados para captar imágenes de diferentes regiones del espectro, llamadas **bandas** (Universidad de Murcia, 2003-2004).

De una forma resumida, se pueden clasificar los sensores de medición en dos grandes tipos: sensores activos y sensores pasivos.

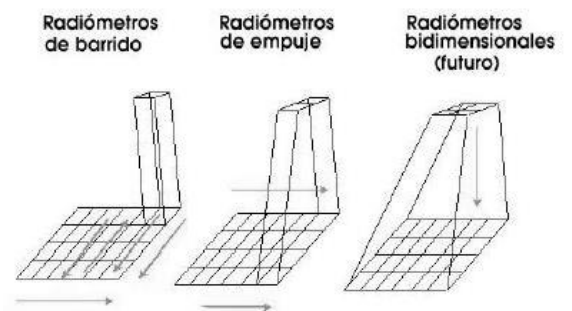
Los sensores activos son aquellos que generan su propia radiación y generan la información a partir de una recepción de la misma. Los pasivos, reciben la radiación emitida o reflejada por la Tierra. Estos últimos, los sensores pasivos, han sido los utilizados para la extracción de datos y elaboración de este TFG.

Existen diferentes tipos de sensores pasivos, como son los sensores fotográficos, electrónicos y óptico-electrónicos. Los sensores ópticos-electrónicos, emiten radiación que se puede descomponer en diferentes longitudes de onda, enviándola a diferentes detectores sensibles de esa región del espectro, que la amplifican y convierten en señal eléctrica y posteriormente en un valor numérico conocido. Mediante este sistema y el procesado de estos datos se puede llegar a obtener conclusiones sobre los diferentes campos que abarca la teledetección.

A su vez, dentro de los sensores óptico-electrónicos, se ubican los radiómetros bidimensionales, de empuje o de barrido (Imagen 2); estos últimos, disponen de un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria, de forma que permite obtener información a ambos lados de la misma durante el recorrido del satélite.

Respecto a la clasificación de los diferentes satélites existentes actualmente y su uso, existen dos tipos principales: los geosíncronos y los heliosíncronos; la principal diferencia entre ambos es el tipo de órbita en el que trabajan. Los primeros, se sitúan en una órbita a 36000km sobre el Ecuador y permanecen estáticos siguiendo el movimiento de rotación de la Tierra. Por otro lado, los heliosíncronos suelen situarse en órbitas circulares y polares entre 300 y 1500 km de altura. El satélite Landsat se clasifica dentro de este último grupo. Algunos de los satélites de órbita polar utilizados para el análisis de recursos naturales son los siguientes (Universidad de Murcia, 2003):

Imagen 2. Esquema gráfico del funcionamiento de diferentes tipos de sensores óptico-electrónicos: radiómetros de barrido, radiómetros de empuje y radiómetros bidimensionales (estos últimos todavía no están en funcionamiento). Las flechas de la parte inferior de la imagen indican la dirección de la trayectoria del satélite mientras que el resto de flecha indican la dirección de medición del sensor. (Universidad de Murcia ,2003) .



- a) **Programa Landsat en toda su serie:** el primer satélite Landsat-1 fue puesto en órbita en 1972, iniciando un proyecto que continúa hasta la actualidad y que ha ido incorporando mejoras notables durante su desarrollo. En el año 1984 se lanzó Landsat-5, aún activo actualmente junto con Landsat 8 y que significó un salto cualitativo importante, que ya se dio con Landsat-4, estando este último en activo durante un corto periodo de tiempo. De esta forma, con la mejora de los satélites se fueron incorporando nuevas bandas de espectros que permitían obtener mejores resultados, llegando a Landsat-7 que ya incorporaba 8 bandas espectrales, una de las cuales obtenía una resolución espacial de 15 metros, respecto al resto que tan solo llegaban a 30m. Actualmente, Landsat-8, puesto en órbita en 2004 cuenta con 11 bandas espectrales y dos radiómetros de barrido capaces de medir hasta 2 combinaciones de 8 bandas diferentes y de obtener imágenes de 15-30 m de resolución y 100 m de ancho, que posteriormente se analizarán con detenimiento. En la actualidad se está desarrollando el proyecto Landsat-9 para su lanzamiento en septiembre de 2021.

- b) **Proyecto Spot:** este proyecto se inicia en 1986 y cuenta con 4 satélites, el último de ellos Spot-4 puesto en órbita en 1998. Estos satélites incluyen un radiómetro de empuje, lo que supone una ventaja respecto a Landsat ya que se obtienen imágenes de mayor resolución espacial, sin embargo, el ancho de las imágenes es más reducido (se obtienen imágenes de 60km de ancho).

- c) **Copernicus Sentinel-2:** se trata de una misión de observación terrestre que tiene como finalidad analizar la evolución de las masas vegetales en la Tierra y así poder observar el desarrollo de bosques, cambios en la corteza terrestre e incluso prevenir posibles desastres naturales (Sentinel 2, 2015). El primer satélite Sentinel 2A se lanzó en junio de 2015 y el siguiente, Sentinel 2B, en marzo de 2017. Ambos satélites trabajan en conjunto como un único elemento. Este satélite cuenta con la capacidad de analizar 13 bandas espectrales aportando una nueva perspectiva de la superficie terrestre y la vegetación.

2.2.2. Parámetros de medición

Para entender el contenido de las imágenes satelitales así como la influencia de las superficies en el efecto isla de calor, hay que diferenciar entre dos parámetros de medición: albedo y emisividad.

Por un lado, albedo es el término que hace referencia a la cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie, expresado en porcentaje o valores entre 0-1. De tal forma, que un albedo de valor 1 hace referencia a una reflexión total de la luz solar que llega a esa superficie, mientras que un albedo de 0 significa que la superficie absorbe toda la radiación que le llega (Ochoa, 1999). Así pues, una superficie de color claro tendrá un albedo más alto que una superficie de color oscuro. Es importante no confundir este término con la temperatura superficial de un cuerpo, ya que por ejemplo, una cubierta de color gris oscuro puede tener una temperatura superficial elevada debido a la cantidad de calor que absorbe de la radiación solar, sin embargo su valor de albedo será muy bajo precisamente por este mismo motivo. O por el contrario, una cubierta de chapa metálica tendrá un valor de albedo alto ya que se trata de una superficie muy reflectante, a la vez que tendrá una temperatura superficial elevada debido al propio material de cobertura.

Acabados de pavimentos oscuros como el asfalto o cubiertas de teja de color oscuro tienen altos valores de albedo, lo que indica que absorben energía durante el día mediante la radiación solar que durante la noche devuelven al ambiente interviniendo en la problemática de la isla de calor urbana en las ciudades.

La emisividad por otro lado, se refiere a la cantidad de calor que emite un cuerpo, es decir, un cuerpo muy reflectante será poco emisivo y viceversa. Por este motivo, un cuerpo con un alto valor de albedo tendrá una emisividad muy baja, ya que refleja gran parte de la energía que le llega, por tanto no podrá emitir más que la diferencia entre la energía que le llega directamente de la radiación solar y la que refleja. En la siguiente tabla (Tabla 1) se recogen datos de albedo y emisividad de superficies identificables en el entorno urbano, destacando los más comunes.

Tabla 1. Valores de albedo y emisividad de superficies

SUPERFICIE	ALBEDO (%)	EMISIVIDAD (%)
Suelo húmedo cultivado	5-15	90-98
Suelo seco arenoso	25-35	84-91
Vegetación tipo césped	20-30	90-95
Campos verdes	3-15	90-95
Coníferas	5-16	97-98
Agua con altura solar alta	5	92-97
Nieve fresca	70-95	99
Asfalto	5-15	95
Hormigón	10-50	71-90
Ladrillo	20-50	90-92
Piedra	20-35	85-95
Pintura blanca	50-90	85-95
Pintura color oscuro	20-35	85-95
Pintura negra	2-15	90-98

2.3. MEDICIÓN DE LA ICU EN DIFERENTES CIUDADES

2.3.1. CONFORT URBANO

El confort se define como “bienestar o comodidad material” (RAE, 2020). Sin embargo, esta definición se considera escasa para explicar el significado de confort en las ciudades y cómo la arquitectura influye en ello. Así pues, se puede entender el confort como *“un estado de bienestar alcanzado por el ser humano, cuando al relacionarse con el medio que le rodea, se adapta al mismo sin un esfuerzo consciente”* (Alarcon, 2014). En términos arquitectónicos, se puede clasificar el término confort en tres tipos principales: **confort térmico, acústico y lumínico-visual**.

- a) Confort térmico: es aquel en el que intervienen las condiciones de temperatura y humedad de un lugar determinado (humedad relativa, velocidad del aire, tasa metabólica del cuerpo humano, temperatura radiante y del aire, etc).
- b) Confort acústico: por otra parte, este tipo de confort se refiere al alcance de unas condiciones adecuadas de reproducción sonora, bajo la influencia de parámetros como el tono, la presión sonora o la intensidad acústica.
- c) Confort lumínico-visual: en él influyen las condiciones de respuesta del ojo humano al entorno más próximo, pues depende de la acomodación al lugar, la fatiga y agudeza visual, contraste y tiempo de percepción.

Respecto al **confort urbano**, entendido como *“el estado de bienestar del individuo en la ciudad relacionado con las condiciones térmicas, acústicas y visuales del entorno”*; Manuel de Terán afirma que *“la ciudad representa la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, nuevas construcciones, otro plano y disposición del territorio, ni tampoco la aglomeración humana o mecánica que determina, sino que todo ello modifica las mismas condiciones climáticas y ambientales, elevando la temperatura y afectando al régimen de precipitaciones y de vientos”* (Tornero, et al., 2006). Se han realizado numerosos estudios al respecto que relacionan directamente el estado de confort urbano con el efecto isla de calor en las ciudades como Barcelona (Carreras, Marín, Martín, Moreno, Sabí, 1990), Madrid (DESIREX, 2008), Vietnam (Van, 2017), Vizcaya (Acero, 2010) o Canadá (Voogt y Oke, 2003).

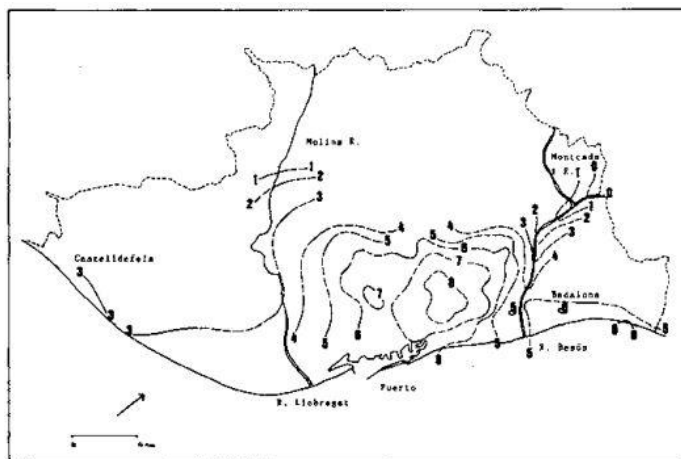
ESTUDIOS REALIZADOS EN CIUDADES

En el año 1968, tuvo lugar un Symposium internacional sobre climas urbanos, promovido por la W.M.O., que impulsó las investigaciones relacionadas con climatología urbana en la época y que dio paso al comienzo del reconocimiento de la problemática de la isla de calor en diferentes ciudades del mundo. Así pues, a día de hoy, pueden encontrarse análisis climáticos de prácticamente cualquier parte del mundo.

En el año, 1990 se llevó a cabo un estudio sobre la ICU de **Barcelona**, donde se analizaba su intensidad mediante mapas de isotermas (Imagen 3), llegando a la caracterización de misma. Así, se concluyó que esta se intensificaba concéntricamente en la zona del Ensanche barcelonés y que dicha isla creaba una meseta térmica en la ciudad, es decir, un amplio espacio donde se localizaban los valores más elevados. Sin embargo, en el estudio es determinante la influencia del río Besós a su paso por la ciudad, ya que canalizaba aire frío desde el interior hacia la costa, dando lugar a una reducción de la temperatura (Carreras, et al, 1990).

Imagen 3

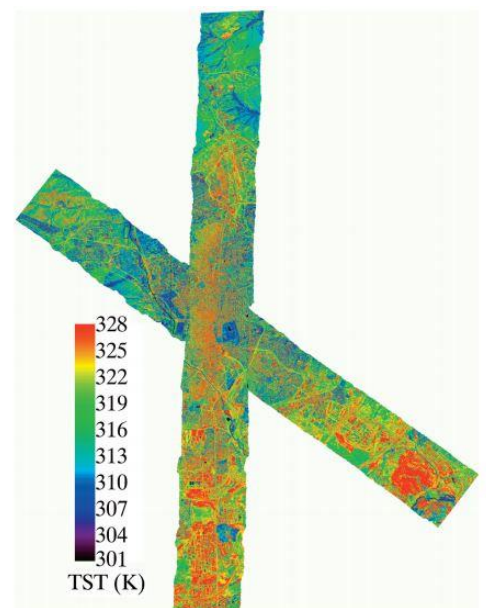
Ejemplo de imagen de análisis de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona mediante isotermas. (Carreras, et al, 1990)



Otro estudio de gran importancia en la determinación del efecto isla de calor en las ciudades, fue la campaña experimental DESIREX2008, de la que la Unidad de Cambio Global de la Universidad de Valencia fue partícipe. Estos estudios, se basaban en el análisis de diferentes parámetros como la temperatura del aire y de la superficie, velocidad y dirección del viento y la emisividad y reflectividad de las superficies urbanas y rurales; todo ello llevado a cabo durante dos semanas y en consonancia con la obtención de datos por parte de satélites como Landsat, entre otros. Así pues, la zona de estudio en este caso fue la ciudad de **Madrid** (Imagen 4), analizada principalmente mediante datos de imágenes satelitales (Sobrino, 2009). Una de las conclusiones a las que se llegó en esta campaña es a la intensificación de la ICU durante el periodo nocturno.

En este sentido, existen multitud de estudios realizados en grandes ciudades en referencia a la ICU, cabe destacar por último, el análisis realizado por J.A. Voogt y T.R. Oke en 2003 en la ciudad de Canadá, en base nuevamente a la importancia del análisis de las islas de calor urbanas a partir de imágenes satelitales y a la importancia de zonas rurales y zonas ajardinadas para reducir su efecto (Voogt., Oke, 2003).

Imagen 4.
Ejemplo de imagen de análisis de la isla de calor urbana en la ciudad de Madrid mediante imágenes satelitales. (Sobrino, 2009)



2.4. Landsat 8

2.4.1. Lanzamiento Landsat 8

En 1972, Estados Unidos, a través del United States Geological Survey (USGS), comienza a desarrollar el programa de captura de imágenes de la serie Landsat (EOS, 2013), el cual consiste en la obtención de mapas temáticos basados en la clasificación de imágenes a partir de sensores remotos. Los comienzos de este proceso de recepción de imágenes multispectrales datan de 1984, sin embargo, no es hasta el año 2004 cuando la NASA impulsa la creación de la Base de Datos Global Ortorectificada (Global Orthorectified Landsat Dataset), que supone un gran impulso en el desarrollo del proyecto y en su posterior evolución hasta la llegada de Landsat 8 en 2013 y el proyecto de Landsat 9, cuyo lanzamiento está previsto en septiembre de 2021. Actualmente, de los 8 satélites lanzados en la totalidad del proyecto, solo quedan en activo 2 (Landsat 5 y Landsat 8).

El satélite Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission) (Imagen 5), fue puesto en órbita el 11 de febrero de 2013, a bordo de la nave espacial Atlas-V, a partir del lanzamiento desde el buque USS Vanderberg. La mejora de Landsat 8 respecto a los anteriores proyectos parte de la dificultad de generar mapas de cobertura terrestres con características claramente diferenciadas respecto a respuestas espectrales, ya que la precisión de los mapas depende de la resolución espacial y espectral así como de las condiciones de la capa vegetal de la zona de análisis y de los niveles de humedad de la superficie (Poursanidis, et al., 2015).

En referencia al problema mencionado, Landsat 8 incorpora los sensores de medición radiométrica OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor), que incorporan mejoras en la resolución de las imágenes obtenidas, gracias a los cuales se ha obtenido una nueva base de datos ortorectificados, L1T. Así pues, estos sensores tienen una resolución espacial de 30m, considerada una resolución baja (LR), sin embargo, son muy útiles en el análisis de zonas urbanas y peri-urbanas con densidad de población moderada.

Es importante destacar, que el satélite Copernicus Sentinel-2 analizado anteriormente, es utilizado como complemento a los estudios realizados con Landsat 8, ya que trabaja con resoluciones de 10 metros en el espectro visible y una variación temporal de 5 días, mientras que Landsat 8 lo hace cada 15 días. Esto hace que en según qué casos de estudio pueda ser interesante la combinación de datos de ambos satélites.

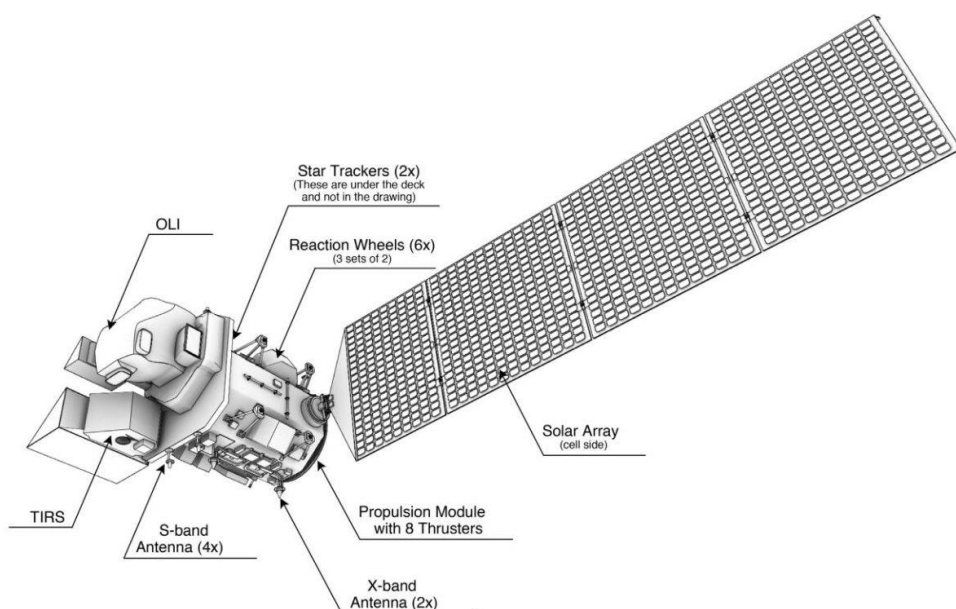


Imagen 5. Esquema de Landsat 8. Esquema de los elementos principales del satélite y localización de los sensores OLI y TIRS. (Poursanidis, et al., 2015)

2.4.2. Sensores OLI y TIRS

Landsat 8, como ya se ha mencionado, incluye dos sensores de detección remota: OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor).

Por un lado, el sensor **OLI** es un radiómetro de barrido multicanal, un instrumento de detección y medición de intensidad de energía térmica radiante. Este instrumento, fue desarrollado por Ball Aerospace & Technologies y opera en 9 bandas espectrales de longitud de onda en el rango de 0.433-2300 μm , proporcionando imágenes de 15 metros de resolución pancromáticas, mediante tecnologías espaciales muy desarrolladas. La gran aportación de este sensor es su capacidad de realizar observaciones a partir de dos nuevos rangos de longitud de onda (bandas 1 y 9), lo que permite un gran avance en la observación de lagos y zonas costeras, así como en el análisis de cirros (nubes de cristales de hielo).

Respecto al sensor **TIRS**, las imágenes obtenidas tienen una resolución de 100m trabajando con dos bandas espectrales que van entre 10.60-12.51 μm (bandas 10 y 11 de Landsat). El objetivo principal de este sensor es obtener las características de temperatura de la superficie y estudiar el proceso de transferencia de calor y humedad, sobretodo en el ámbito de la agricultura y gestión del agua (EOS, 2013). La ventaja de este sensor es que permite crear dos tipos de combinaciones de hasta 8 bandas de longitud de onda infrarroja, ya que hasta la fecha con anteriores versiones del satélite tan solo se podía obtener una combinación.

La combinación de estos dos sensores proporciona imágenes de barrido capturadas a lo largo de la trayectoria de la nave, de forma que se obtienen imágenes con menor distorsión radiométrica respecto a los satélites Landsat anteriores.

Como se ha mencionado, gracias a los sensores OLI y TIRS, se pueden recoger datos de hasta 11 bandas espectrales con el satélite Landsat 8, dos más que en la versión anterior Landsat 7, ya inactivo. En la siguiente tabla (Tabla 2) se caracterizan estas bandas, aparecen destacadas aquellas que se utilizarán en la Experiencia 2 de este TFG:

Tabla 2. Bandas espectrales del satélite Landsat 8

SENSOR	Nº DE BANDA	RESOLUCIÓN (m)	LONGITUD DE ONDA (µm)	PRINCIPALES APLICACIONES
OLI	1	30	0.43-0.45	Estudios costeros y de aerosoles
OLI	2	30	0.45-0.51	Estudio de la tipología de vegetación
OLI	3	30	0.53-0.59	Estudio de las masas vegetales y picos de máxima vegetación
OLI	4	30	0.63-0.67	Estudio de laderas de vegetación
OLI	5	30	0.85-0.88	Contenido de biomasa y costas
OLI	6	30	1.57-1.65	Distingue humedad en el suelo y vegetación
OLI	7	30	2.11-2.29	Estudios de la humedad a partir de la penetración a través de nubes finas
OLI	8	15	0.5-0.68	Definición de imagen más nítida
OLI	9	30	1.36-1.38	Mejor detección de la contaminación en cirros
TIRS	10	100	10.60-11.19	Mapeo térmico y humedad estimada del suelo
TIRS	11	100	11.50-12.51	Mapeo térmico y humedad estimada del suelo

2.4.3. Procesado de imágenes Landsat

El mantenimiento y conservación de los satélites Landsat depende de la NASA, sin embargo, la comercialización de las imágenes depende del USGS. El satélite Landsat 8 entrega unas 400 escenas por día que son cargadas en el servidor de datos del USGS.

Así pues, se pueden obtener diferentes tipos de datos proporcionados por el Servicio Geológico de EEUU (Universidad de Murcia, 2003):

- a) L0: se trata de imágenes digitales sin formato, ordenados proporcional y secuencialmente por bandas espectrales.
- b) L1R: son imágenes radiométricamente corregidas. Se obtienen a partir de imágenes de tipo L0 y reflejan datos referidos a valores de radiancia espectral o reflectividad.
- c) L1G: son imágenes geométricas sistemáticas obtenidas a partir de imágenes de tipo L1R. Se aplican a muestreos sobre proyecciones cartográficas. Y están referenciadas al Sistema Geodésico Mundial.
- d) L1Gt: son imágenes similares a las anteriores, también referenciadas al Sistema Geodésico Mundial pero con la aplicación de correcciones de los errores de paralaje.
- e) L1T: son imágenes con datos obtenidos de las imágenes tipo LR1 (valores de radiancia espectral o reflectividad) pero con correcciones geométricas a partir de puntos de control terrestre, es decir, a partir de una posición geográfica integrada en el satélite se obtiene una imagen de una proyección cartográfica con valores de reflectividad y además, corregida topográficamente debido a las irregularidades de la corteza terrestre. Será el tipo de imágenes utilizado para el desarrollo de este TFG.

Los productos L1T, son imágenes de niveles digitales enteros, con una resolución radiométrica de 16 bits, que se pueden convertir a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera (TOA) o a valores de radiación.

Como se puede observar en la Tabla 2, las imágenes de Landsat 8 están formadas por 10 bandas de trabajo (de la 1 a la 11 a excepción de la 8) y por 1 banda pancromática (Imagen 6), la banda 8. Esta banda pancromática permite equiparar las imágenes de resoluciones de 30 y 100 m a una resolución de 15 m, mediante la técnica “pansharpening” (Gis&Beers, 2018), también conocida como fusión de imágenes. Este procedimiento facilita la visualización de las imágenes obtenidas así como el análisis de los datos obtenidos en ellas, ya que si no se realiza se deben analizar las imágenes con resoluciones de 30m o como sería el caso de este TFG, con resoluciones de 100m para el análisis de imágenes térmicas.

La justificación de la elección de las bandas 10 y 11 de Landsat para el estudio del efecto ICU, se debe a que las bandas 1 a 7 de Landsat miden niveles de radiación de la superficie, mientras que las bandas 10 y 11 miden valores de emisividad, es decir, la energía emitida por un cuerpo. No obstante, estas bandas presentan el problema de resolución de imagen (100 m), ya que es necesario un mayor rango de análisis para captar toda esa energía, razón por la que se combinan estas bandas con la 8 para obtener así resultados óptimos para el análisis.

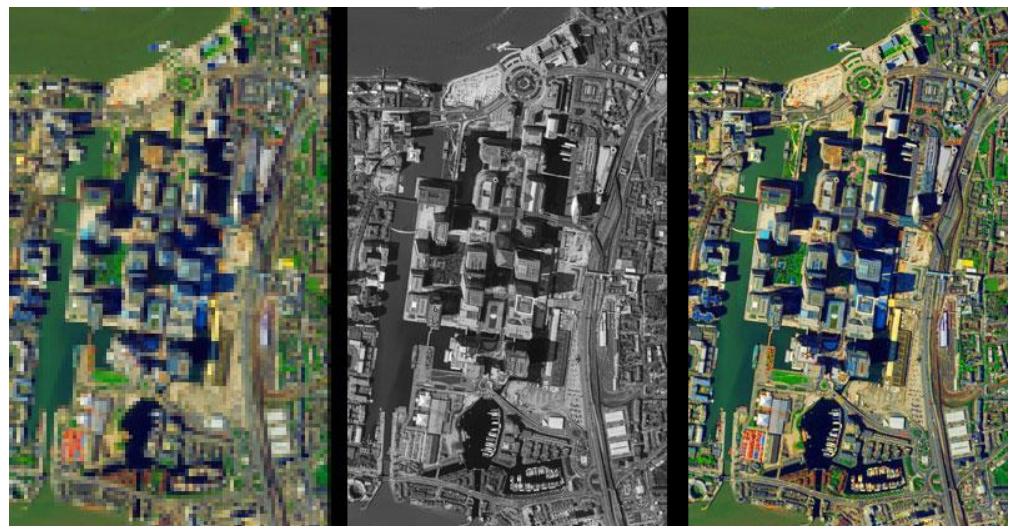


Imagen 6. Ejemplo de la técnica pansharpening. La primera imagen se corresponde con una imagen tipo de resolución 30 o 100m; la segunda es una imagen pancromática de 15 m de resolución. La tercera imagen se trata de una combinación de ambas, realizada mediante programas informáticos de procesamiento de imágenes de este tipo. De esta forma se obtiene, como se observa en la imagen de la derecha, una combinación de ambas, con datos de emisividad y una alta resolución. (Gis&Beers, 2018)

Para la obtención de los resultados adecuados para los diferentes análisis, es necesario realizar una serie de correcciones sobre las imágenes térmicas. Unas de las más importantes son las correcciones topográficas y las correcciones atmosféricas.

Las primeras, se realizan en territorios con perfiles muy irregulares, donde en una misma vista en planta puede haber grandes diferencias de altura en pocos kilómetros como es el caso de zonas montañosas, en el caso que ocupa a este TFG en la ciudad de Valencia, este ajuste podría considerarse descartable ya que no sería determinante para la investigación.

Por otro lado, la corrección atmosférica sí se aplica a prácticamente todas las imágenes térmicas de este tipo, sobre todo si se analizan imágenes con una cierta distancia temporal (Parastatidis, d. et al, 2017). En esta investigación sí se ha considerado determinante su aplicación. Así pues, los parámetros necesarios para la corrección atmosférica se obtienen de la plataforma web "<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>", proporcionada por la NASA. En resumen, se realiza una obtención de datos de satélites de estudio atmosférico con más de 300 bandas espectrales, para adaptar los datos necesarios a las imágenes Landsat y realizar así la corrección.

2.5. PROPUESTA para la mitigación de las islas de calor

Como se ha mencionado anteriormente, la isla de calor se define a grandes rasgos como la diferencia de temperatura entre la zona rural y la zona urbana de la ciudad. Partiendo de esta base, es fácil relacionar la ICU con la alta densidad de urbanización y la masificación de las ciudades, de forma que la importancia de las **zonas verdes en las ciudades**, justificada en muchos ámbitos, toma importancia tratándose de esta problemática.

Además, uno de los objetivos de este TFG es obtener el conocimiento suficiente para relacionar el efecto ICU con el funcionamiento superficial de las cubiertas ubicadas en las ciudades, es decir, cómo influyen las cubiertas de los edificios en esta problemática y cómo se podría solucionar. Posteriormente, se detallarán más detenidamente todas las conclusiones obtenidas.

Según numerosos estudios relacionados con el efecto isla de calor en ciudades, se relaciona la mitigación de esta problemática con la influencia de dichas zonas verdes en el centro urbano. La importancia de la vegetación en zonas urbanas abarca diversos ámbitos conectados entre sí y con una conclusión en común: la mejora del confort urbano en las ciudades. En primer lugar, uno de los beneficios aportados por las zonas verdes se relaciona directamente con las condiciones climáticas del entorno directo de los ciudadanos, mejorando la calidad del aire y produciendo zonas de sombra que no solo proporcionan comodidad al peatón, sino que además reducen la acumulación de calor en la superficie, reduciendo el consumo de energía por parte de los edificios que a su vez, en consecuencia, generan menos emisiones de calor al medio ambiente. Además, la presencia de zonas ajardinadas en centros urbanos provoca una disminución de los valores de albedo de la superficie, provocando que un mayor porcentaje de la radiación incidente sea reflejada a la atmósfera, provocando una menor acumulación de calor en la superficie y reduciendo el efecto isla de calor (Lozano Esteban, 2010).

Es por esto, que en ciudades donde las zonas ajardinadas escasean, la ICU aumenta considerablemente, sumando el hecho de que la mayoría de edificios de las ciudades están contruidos con cubiertas de materiales contaminantes y de acabados oscuros que absorben energía durante el día, emitiéndolo al ambiente durante la noche y aumentando así esta problemática.

En este TFG, se propone la mitigación de la isla de calor urbana, mediante la aportación de cubiertas ajardinadas en los edificios de las ciudades, es decir, se propone una extrapolación del concepto "zonas ajardinadas" a las cubiertas de los edificios, de tal forma que debido a la escasez de superficie libre para la creación de zonas ajardinadas en las ciudades, se solventa este problema mediante la superficie generalmente desaprovechada en las cubiertas de los edificios.

2.5.1. Aplicación a nivel arquitectónico

En este apartado, se explicarán diferentes sistemas constructivos y características generales de las cubiertas ajardinadas (Imagen 7). Como ya se ha mencionado, este tipo de cubiertas tiene muchas ventajas desde el punto de vista del confort urbano así como higrotérmico en los interiores de los edificios.

Por norma general, su estructura es la siguiente, con diferentes variaciones explicadas posteriormente:



Imagen 7.
Esquema de la estructura general de una cubierta vegetal ajardinada. (Lafarge, 2013)

Una característica muy importante de las cubiertas vegetales es la capa de sustrato vegetal, ya que esta interviene tanto en el tipo de plantación que se puede aplicar a la cubierta como en las características térmicas de la misma. En función del espesor de sustrato se pueden clasificar en:

- a) Cubiertas ecológicas o extensivas: espesor de sustrato entre 10-15cm. Permiten plantaciones vegetales tipo tapizantes como el Sedum. Tienen un mantenimiento muy bajo.
- b) Cubiertas ajardinadas o intensivas: el espesor de sustrato supera los 15cm. Se pueden realizar jardines en su superficie con plantaciones de gran porte.
- c) Cubierta semiextensivas: el espesor de sustrato varía en general entre 15-30 cm. Se pueden combinar plantaciones de ambos tipos.

De forma puntual, el funcionamiento de estas cubiertas en su entorno más próximo proporciona múltiples mejoras de confort ya mencionadas anteriormente, reduciendo las emisiones de calor a la atmósfera.

Así pues, ampliando el rango a nivel urbano, creando un jardín de gran extensión de forma conjunta en las cubiertas de los edificios (Imagen 8) se podrían obtener grandes mejoras en la problemática de la isla de calor urbana, mitigando así la emisión de calor al ambiente por parte de las cubiertas en las ciudades.

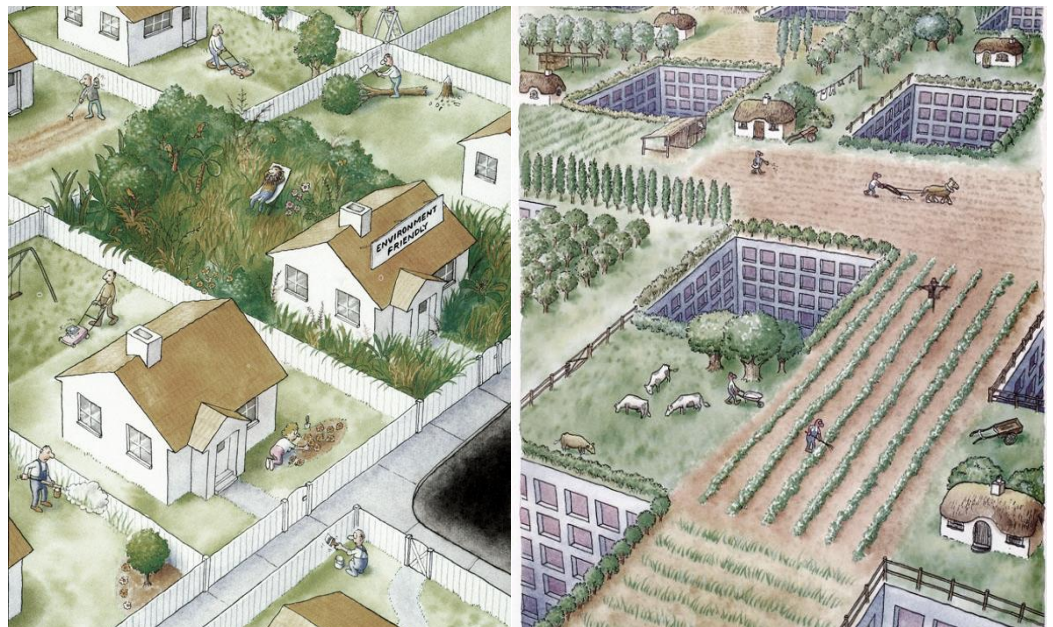


Imagen 8. Esquema de propuesta de extrapolación de jardines urbanos a las cubiertas de los edificios de la ciudad. A la izquierda se representa una zona rural con grandes zonas ajardinadas. A la derecha, una comparación con zonas de características similares en centro urbano de ciudad. (Stanley Eales).

2.6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO

Tras el estudio bibliográfico realizado, se obtienen las siguientes conclusiones previas a la realización de la parte práctica del TFG:

- a) Existe una problemática generalizada en las grandes ciudades con respecto a la ICU.
- b) Existen sistemas de estudio del efecto isla de calor mediante teledetección que pueden ser efectivos en su caracterización.
- c) El problema se agrava a mayor densidad de construcción en las zonas urbanas y por tanto a mayor densidad de población en las ciudades.
- d) Las cubiertas ajardinadas son una posible solución a esta problemática, aportando además mejoras al confort urbano.

TRABAJO PRÁCTICO

EXPERIENCIAS. TRABAJO DE CAMPO

3.1. MEDICIÓN DE TEMPERATURAS EN CUBIERTAS.

EXPERIENCIA 1

INTRODUCCIÓN

Esta experiencia, en adelante “Exp.1”, ha consistido en la elección, definición y comparación del funcionamiento térmico de diferentes tipologías de cubiertas, para el posterior análisis de la influencia de estas temperaturas en el efecto isla de calor en la ciudad de Valencia. De esta forma, se han seleccionado 4 tipos de cubiertas que se detallan posteriormente y que se pueden englobar en dos grandes grupos: tipología de cubierta vegetal y cubierta tradicional. Tras realizar una evaluación bibliográfica y analizar las características de cada tipo de cubierta, se espera que las temperaturas obtenidas en la superficie exterior e interior de las cubiertas vegetales sean inferiores a las obtenidas en las cubiertas tradicionales.

OBJETIVOS EXP. 1

El objetivo principal ha sido conocer el funcionamiento térmico de las cubiertas ajardinadas en comparación con las cubiertas tradicionales, así como observar y medir la temperatura de la superficie exterior de dichas cubiertas con el fin de obtener conclusiones respecto a la emisión de calor al ambiente y la influencia en el efecto isla de calor, según la tipología. Además, se ha medido la superficie interior de dos de estas cubiertas, con el fin de analizar a grandes rasgos la resistencia térmica de las cubiertas ajardinadas, respecto a las cubiertas de teja, así como su comportamiento y la relación con el confort higrotérmico en el interior de la vivienda.

HIPÓTESIS EXP. 1

Las hipótesis formuladas antes del análisis de los resultados obtenidos son las siguientes:

- a) Obtención de una temperatura menor en las superficies interiores y exteriores de las cubiertas ajardinadas respecto a las cubiertas tradicionales.
- b) Las cubiertas ajardinadas permiten una transferencia de calor menor al interior de las viviendas respecto a las cubiertas tradicionales.

METODOLOGÍA EXP. 1

Para llevar a cabo esta investigación se ha seguido el siguiente procedimiento:

- a) Elección de las herramientas a utilizar para la medición de las temperaturas superficiales de la cubierta. Se ha utilizado la cámara Flir Vue Pro para la obtención de imágenes radiométricas. Así como el programa Flir Tools para el análisis y corrección de las mismas.
- b) Elección y definición de las cubiertas a analizar según su tipología, la tipología edificatoria y su ubicación en el territorio. De esta forma, se eligieron 4 tipos de cubiertas:
 1. Cubierta plana, ajardinada extensiva con sustrato vegetal y plantación. Sobre forjado unidireccional de madera. Ubicada en vivienda unifamiliar en zona rural de la Comunidad Valenciana, en el municipio de Carcaixent. En adelante "**Cubierta 1**" o "**Cub.1**" (*Imagen 9*).
 2. Cubierta inclinada a dos aguas, con acabado de teja cerámica curva de color rojizo. Sobre forjado unidireccional de madera. Ubicada en vivienda unifamiliar en zona rural de la Comunidad Valenciana. En adelante "**Cubierta 2**" o "**Cub.2**" (*Imagen 9*).
 3. Cubierta plana, ajardinada extensiva con acabado de grava y zonas de pavimento cerámico de color beige. Situada en Escuela Técnica Superior de Arquitectura en la Universidad Politécnica de Valencia. En zona urbana de la Comunidad Valenciana. En adelante "**Cubierta 3**" o "**Cub.3**" (*Imagen33*).
 4. Cubierta plana, convencional con acabado de pavimento cerámico de color rojizo. Situada en edificio de viviendas plurifamiliar en zona urbana de la Comunidad Valenciana, en el barrio de Benimaclet (Valencia). En adelante "**Cubierta 4**" o "**Cub.4**" (*Imagen 44*).
- c) Definición de la metodología a seguir para la toma de datos:
 1. En primer lugar, se han caracterizado las condiciones del entorno en el momento de la medición: temperatura ambiente, nubosidad, fecha y hora (para determinar el posible cambio en el ángulo de incidencia de la radiación solar) y características físicas de la cubierta (estado de conservación para localizar posibles puntos deteriorados que pudieran alterar los resultados obtenidos).
 2. Se han localizado los puntos exactos para la toma de datos. Estos puntos se determinarán posteriormente en la caracterización de cada cubierta. No obstante, se decidió tomar datos en zonas de sombra, zonas de sol y encuentros entre puntos característicos (encuentros entre cubiertas o encuentros entre cubierta y paramentos verticales), con la finalidad de mejorar el análisis sobre el funcionamiento de la cubierta.
 3. Seguidamente, se ha determinado la distancia de 1 metro en perpendicular a la cubierta como punto de colocación de la cámara para la medición tanto en la cara exterior como en la interior de la cubierta.

4. Se ha llevado a cabo la medición con la cámara termográfica Flir Vue Pro Zoom, utilizando la aplicación móvil "FLIR Tools". Los valores de medición se han realizado con zoom ajustado al 100%, en formato "radiometric.jpg" y colores "Iron", decisión tomada en base a varias pruebas realizadas con anterioridad al día de medición y comparación de varias imágenes.
 5. Se ha realizado una toma de fotografías generales de las cubiertas con cámara convencional.
- d) Análisis de los resultados obtenidos mediante el siguiente procedimiento:
1. Análisis de las fotografías obtenidas mediante el programa "FLIR Tools" en su versión para Windows 10. Análisis de los rangos de temperaturas medidos en cada uno de los puntos.
 2. Ajuste de la escala de colores en cada imagen mediante el uso del histograma proporcionado por la aplicación, mostrando un mismo rango de temperaturas en todas las imágenes. No obstante, cabe destacar que este procedimiento no modifica las temperaturas de la imágenes sino simplemente su visualización con el fin de realizar una comparación más precisa entre ellas; de esta forma se consigue que un color concreto corresponda a la misma temperatura en todas las imágenes (Ej: azul oscuro = 25°C). La medición mediante la cámara termográfica Flir Vue Pro se realiza en base a un 0 relativo, esto provoca que las temperaturas medidas en cada cubierta por separado no sean determinantes por sí solas como medición aislada. Sin embargo, realizando este ajuste se solventa este hecho, ya que igualando el rango de colores en función de las temperaturas que se muestra en todas ellas, se pretende compararlas y analizar qué temperaturas aparecen en unas cubiertas y cuáles no, para así poder extraer resultados y conclusiones determinantes. Se han determinado 2 rangos de ajuste: por un lado, un rango entre 35-50°C para la medición de las temperaturas exteriores de las cubiertas; por otro lado, un rango de 30,5-32,5°C para la medición en las caras interiores, ya que al no tener incidencia directa del sol la apreciación de esta variación es más reducida. El valor más bajo se corresponde con el color azul oscuro así como el más elevado lo hace con el amarillo cálido.
 3. Comparación de los datos obtenidos a partir de las imágenes ajustadas mediante el programa informático.
 4. Extracción de informes generados por la herramienta informática utilizada, FLIRTools (Anexo 1).
- e) Conclusiones específicas de la **Experiencia 1**.

RESULTADOS OBTENIDOS EXP. 1

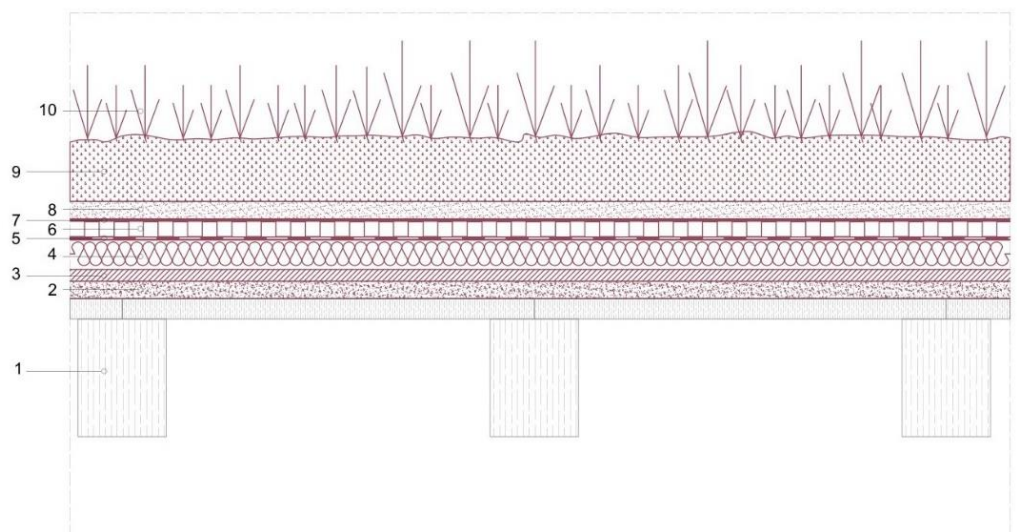
CUBIERTA 1

a) Descripción de la tipología y detalle constructivo:

La cubierta de estudio, se sitúa en una vivienda unifamiliar aislada autosuficiente, construida en el año 2011. Se trata de una cubierta plana ajardinada, extensiva, con sustrato y manto vegetal de aproximadamente 10cm de espesor, sobre forjado unidireccional de vigas y viguetas de madera. A continuación se detalla la definición constructiva de la misma (Detalle 1). Cabe destacar que la cubierta 1 comparte vivienda con la cubierta 2, descrita posteriormente.

b) Detalle constructivo:

1. Forjado unidireccional de vigas y viguetas de madera
2. Hormigón de pendientes (entre 1% y 5 %).
3. Capa de regularización de mortero de cemento.
4. Aislamiento térmico de 8 cm de corcho.
5. Impermeabilización mediante lámina bituminosa.
6. Capa separadora drenante tipo lámina de polietileno.
7. Capa separadora tipo fieltro geotextil.
8. Capa de arena de protección de 3cm.
9. Manto de sustrato vegetal de aproximadamente 10cm.
10. Capa de vegetación de arbustos bajos.



Detalle 1. Definición constructiva Cubierta 1. Elaboración propia

c) Fotografías generales

Imagen 9.

Fotografía general de las cubiertas 1 y 2. La zona con placas solares y plantación corresponde a la cubierta 1. La zona con acabado de teja corresponde a la cubierta 2.

Elaboración propia



d) Fotografías de detalle

Imagen 10.

Fotografía de detalle de la cubierta 1. Zona en sombra y en sol.

Elaboración propia

Imagen 11.

Encuentro entre cubierta 1 y cubierta 2

Elaboración propia



e) Medición Cubierta 1.

En el momento de la medición en la cubierta 1 (*Imagen 9*), las condiciones eran las siguientes:

1. **Condiciones de contorno:** la toma de datos se ha realizado el día 29 de julio de 2020 entre las 16:00 y las 17:00h. La temperatura ambiente era de 31°C con nubosidad baja (medida visualmente) y con la cubierta en condiciones de insolación directa a excepción de una superficie mínima bajo las placas solares. La orientación de la cubierta no es determinante tratándose de una cubierta plana.
2. **Puntos escogidos para la toma de datos:** se han tomado los siguientes puntos como lugares característicos de la cubierta 1 para realizar la medición (*Imagen 12*)-(*Imagen 13*):
 - a) Punto A de la cubierta 1: en adelante "**MC1-A**". Se trata de una zona central libre de obstáculos, con insolación directa y zonas en las que los arbustos están ligeramente degradados. Se ha seleccionado este punto para comparar la diferencia de temperaturas entre las zonas con acabado de arbustos y las zonas en las que únicamente existe la capa de sustrato. Situado en la superficie exterior de la cubierta.
 - b) Punto B de la cubierta 1: en adelante "**MC1-B**". Se trata de una zona con las mismas condiciones que el punto MC1-A pero situado en zona de sombra bajo las placas solares existentes en la cubierta. Se pretende observar la variación de temperatura entre dos puntos con las mismas condiciones físicas únicamente en diferente condición de insolación. Situado en la superficie exterior de la cubierta.
 - c) Punto C de la cubierta 1: en adelante "**MC1-C**". Encuentro entre cubierta vegetal y elemento de remate de la cubierta 2. Se pretende analizar el encuentro entre las dos tipologías de cubierta existentes en la vivienda. Posteriormente en el análisis de la cubierta 2 se analizará el encuentro entre el faldón de dicha cubierta con la cubierta 1. Se mide en condiciones de insolación directa. Situado en la superficie exterior de la cubierta.
 - d) Punto D de la cubierta 1: en adelante "**MC1-D**". Se trata de un punto en la zona central de la cubierta situado en su superficie interior.

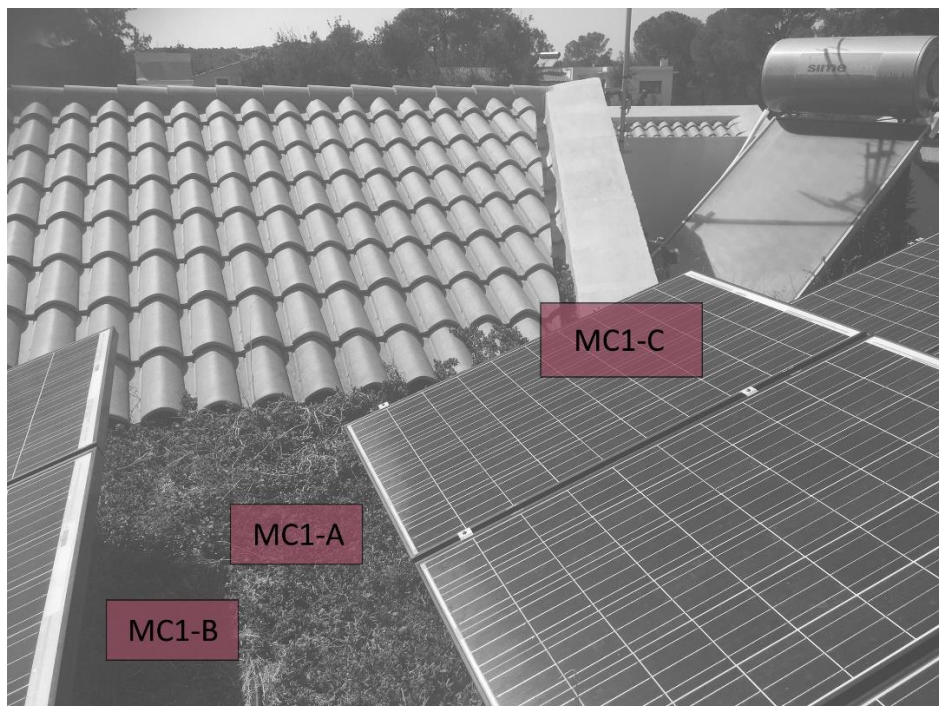


Imagen 12. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 1. El punto MC1-C se sitúa detrás de las placas solares. Elaboración propia

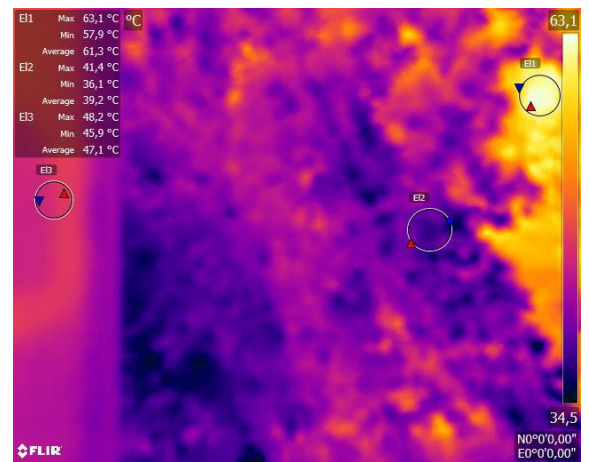


Imagen 13.
Señalización de puntos de estudio en la superficie interior de la cubierta 1.
Elaboración propia

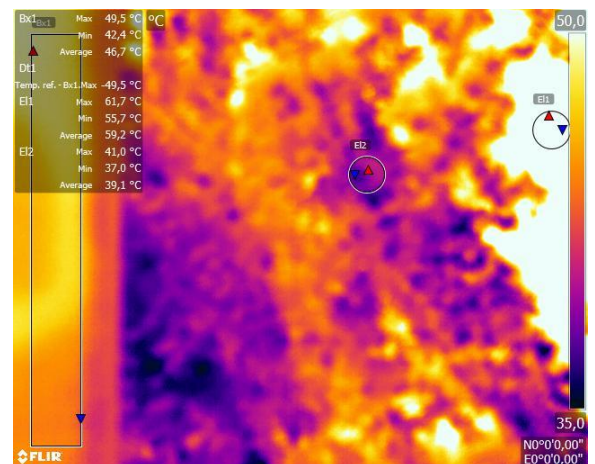
3. Resultados medición cubierta 1: los resultados obtenidos en las diferentes mediciones son los siguientes.

a) **"MC1-A":** la temperatura máxima obtenida en esta medición es de **62.8°C**, mientras que la mínima en la zona de sol medida es de **36.1°C**, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 14). De esta forma, adaptando el rango de colores entre 35-50°C (Imagen 15), se puede observar que la mayoría de la imagen está ocupada por tonos dentro del rango violeta-azul, es decir, entre las temperaturas 35-40°C. Este rango se corresponde con la zona de cubierta donde abunda la vegetación, sin embargo, se puede observar como en la zona donde la vegetación escasea, la temperatura aumenta hasta el color más cálido, con una temperatura en torno a los 50°C. En el lateral izquierdo de la foto aparece una franja de altas temperaturas correspondiente a la superficie de las placas solares.

*Imagen 14.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.*



*Imagen 15.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC1-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.*



- b) "MC1-B": la temperatura máxima obtenida en esta medición es de 37.7°C, mientras que la mínima en la zona de sol medida es de 33.2°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 16). De esta forma, adaptando el rango de colores entre 35-50°C (Imagen 17), se puede observar como toda la imagen cambia automáticamente a tonos azul oscuro, es decir, muy cerca de los 35°C. Las zonas donde la vegetación es más escasa son las manchas de color azul más claro, sin embargo la variación con las zonas donde existe vegetación es más leve que en el caso del punto MC1-A, ya que la insolación no es directa y la temperatura es por tanto más constante.

Imagen 16.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

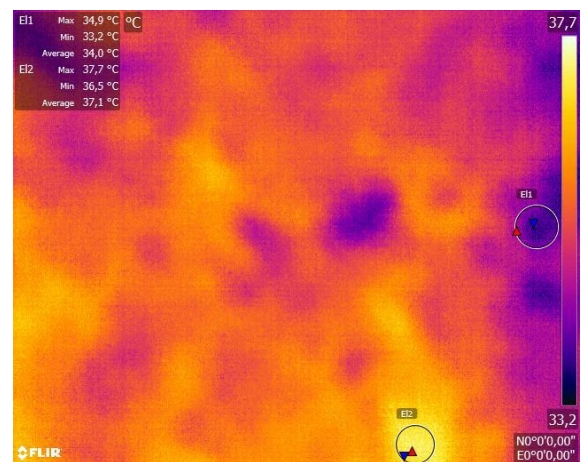
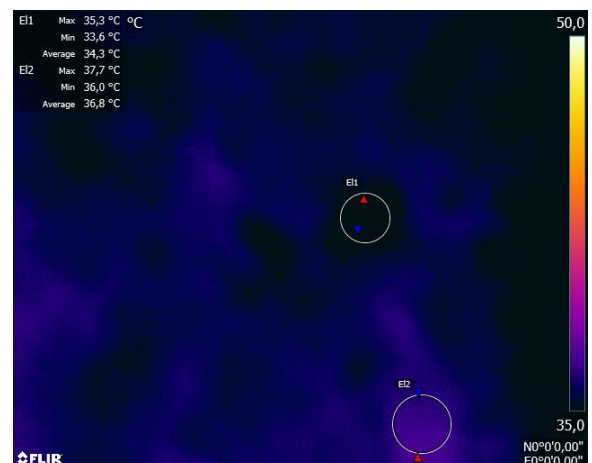


Imagen 17.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC1-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- c) "MC1-C": en este punto, la temperaturas máximas y mínimas obtenidas han sido 55.8°C y 11.8°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 18). De esta forma, adaptando el rango de colores entre 35-50°C (Imagen 19), se observa como las zonas con presencia baja de vegetación tienen una temperatura elevada mientras que la zona de encuentro de ambas cubiertas presenta tonos más azulados en torno a los 35 grados Celsius, esto se debe en parte al color beige del elemento de remate. Así pues se puede apreciar que la zona que queda en sombra presenta la temperatura más baja de la imagen.

Imagen 18.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

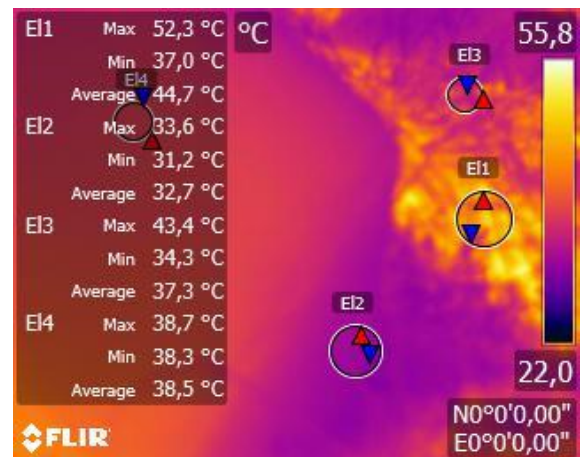
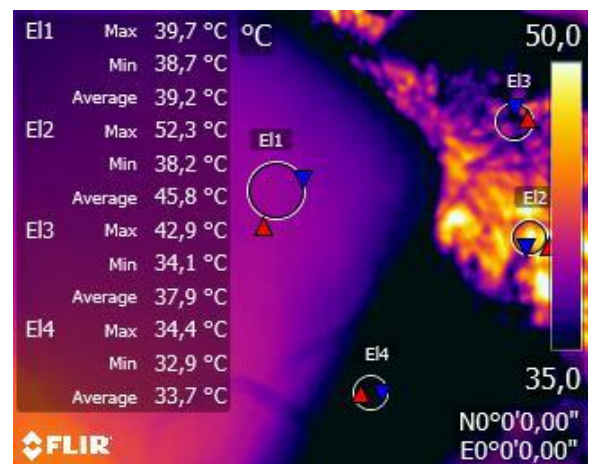


Imagen 19.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC1-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- d) "MC1-D": en este punto, la temperaturas máximas y mínimas obtenidas han sido **31.1°C** y **29.1°C**, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 20). En este caso, se ha decidido ajustar el rango de imagen entre 30.5-32.5°C (Imagen 21), ya que las temperaturas inferiores son menos elevadas, de tal forma que un rango entre 35-50°C como en los casos anteriores no era representativo y no se podría comparar con el resto de cubiertas. De esta forma, se observa como en la zona central de la imagen la temperatura es más elevada, sin embargo, en la zona por donde discurre la vigueta es más baja, esto se debe a que en ese punto la masa de madera añadida por la vigueta reduce en torno a 1 grado la temperatura.

Imagen 20.

Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC1-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

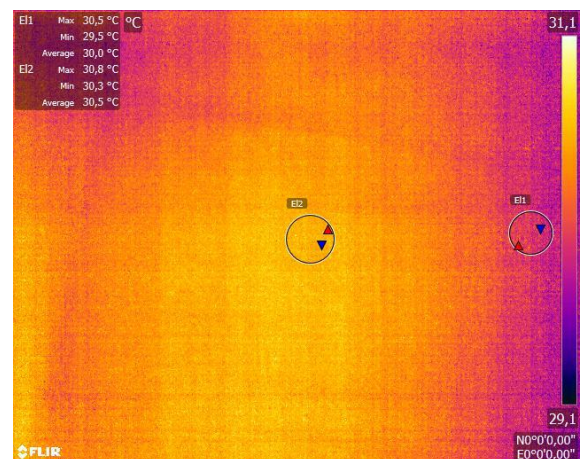
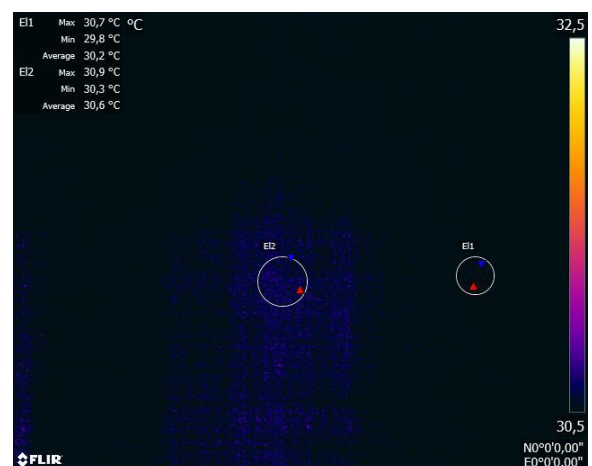


Imagen 21.

Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC1-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



El conjunto de los datos obtenidos (Tabla 3), muestra una variación máxima con la temperatura ambiente de 31.8°C (62°C en punto MC1-A) y una variación mínima de 2.2°C (33.2°C en punto MC1-C), estando las temperaturas máximas medidas en torno a 50-60°C en zonas de insolación directa y las mínimas entre 20-30°C en zonas de sombra. El punto MC1-D no es comparable con el resto de puntos medidos en esta cubierta ya que las condiciones de contorno son diferentes, sin embargo, sí será representativo en la comparación con las medidas tomadas en la superficie interior de la cubierta 2.

Tabla 3. Temperaturas medidas en Cubierta 1

PUNTO MEDIDO	MC1-A	MC1-B	MC1-C	MC1-D
FECHA Y HORA DE LA MEDICIÓN	29/07/2020	29/07/2020	29/07/2020	29/07/2020
Tª AMBIENTE	31 °C	31°C	31°C	31°C
Tª MÁXIMA MEDIDA	62.8 °C	37.7°C	55.8°C	31.1°C
Tª MÍNIMA MEDIDA	36.1 °C	33.2°C	22.0°C	29.1°C
RANGO DE AJUSTE DE TEMPERATURAS	35-50 °C	35-50°C	35-50°C	30.5-32.5°C

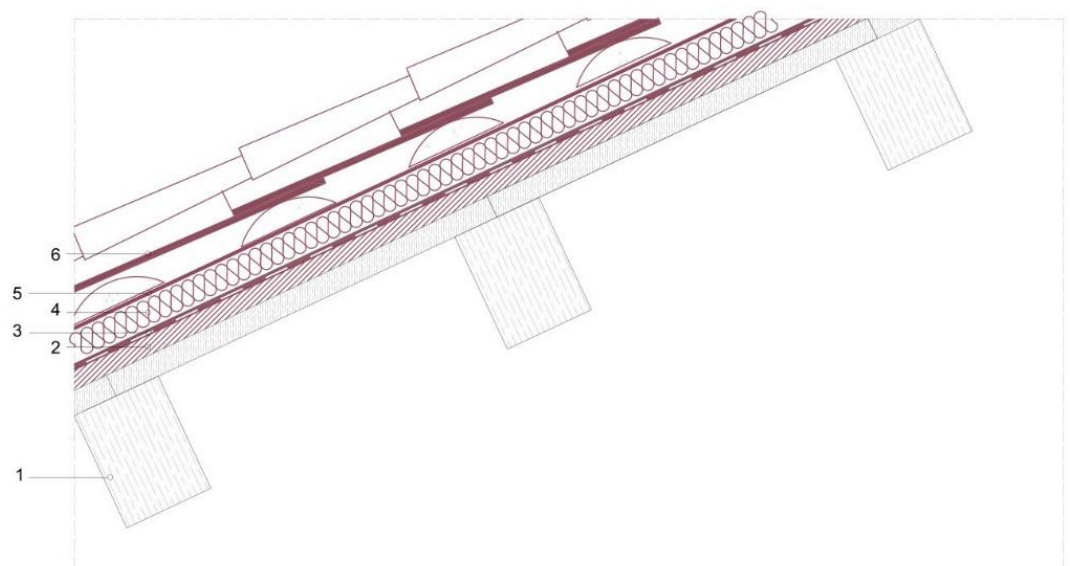
CUBIERTA 2

a) Descripción de la tipología y detalle constructivo:

La cubierta de estudio, se sitúa en una vivienda unifamiliar aislada autosuficiente, construida en el año 2011. Se trata de una cubierta inclinada, a dos aguas, con acabado de teja cerámica curva y color rojizo. Está construida sobre forjado unidireccional de vigas y viguetas de madera. A continuación se detalla la definición constructiva de la misma (*Detalle 2*). Cabe destacar que la cubierta 1 comparte vivienda con la cubierta 2, descrita anteriormente.

b) Detalle constructivo:

1. Forjado unidireccional de vigas y viguetas de madera.
2. Capa de regularización de mortero de cemento.
3. Impermeabilización mediante lámina bituminosa.
4. Aislamiento térmico de corcho natural de 8cm.
5. Capa separadora de protección.
6. Cobertura de teja cerámica.



Detalle 2. Definición constructiva Cubierta 1. Elaboración propia

c) Fotografías generales

Imagen 9. Aparece en pág.39

Fotografía general de las cubiertas 1 y 2. La zona con placas solares y acabado de plantación se corresponde con la cubierta 1. La zona con acabado de teja se corresponde con la cubierta 2.

Elaboración propia



d) Fotografías de detalle

Imagen 22.

Fotografía de detalle de la cubierta 2.

Elaboración propia



Imagen 23.

Encuentro entre cubierta 1 y cubierta 2

Elaboración propia



e) Medición Cubierta 2.

La medición realizada en la cubierta 2 (Imagen 9) se ha llevado a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. **Condiciones de contorno:** la toma de datos se ha realizado el día 29 de julio de 2020 entre las 16:00 y las 17:00h. La temperatura ambiente era de 31°C con nubosidad baja (medida visualmente) y con la cubierta en condiciones de insolación directa, cabe destacar que no se han medido puntos de sombra en esta cubierta (salvando un espacio mínimo en el encuentro de las dos cubiertas). La orientación de la cubierta es este-oeste.
2. **Puntos escogidos para la toma de datos:** los puntos escogidos para la realización de la medición son los siguientes (Imagen 24-A)-(Imagen 24-B):
 - a) Punto A de la cubierta 2: en adelante **“MC2-A”**. Se trata de la zona central de la cubierta, en condiciones de insolación directa. Situado en la superficie exterior de la cubierta.
 - b) Punto B de la cubierta 2: en adelante **“MC2-B”**. Se trata del encuentro entre la cubierta 1 y la cubierta 2, en la zona donde el faldón de la cubierta 2 sobrepasa la cubierta 1 quedando ligeramente por encima de esta. Medido con insolación directa y situado en la superficie exterior de la cubierta.
 - c) Punto C de la cubierta 2: en adelante **“MC2-C”**. Se ha medido la superficie interior de la cubierta en la zona del faldón, donde la misma se encuentra con la cubierta 1. Situado como se ha mencionado en la superficie interior de la cubierta.
 - d) Punto D de la cubierta 2: en adelante **“MC2-D”**. Se trata de un punto en la cumbrera de la cubierta, en la superficie interior de la misma.



*Imagen 24-A. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 2.
Elaboración propia*



*Imagen 24-B.
Señalización de puntos de estudio en la superficie interior de la cubierta 2.
Elaboración propia*

3. Resultados medición Cub.2: los resultados obtenidos en los diferentes puntos son los siguientes.

- a) "MC2-A": la temperatura máxima obtenida en esta medición es de 46.7°C, mientras que la mínima en la zona de sol medida es de 35.2°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 25). Aplicando la adaptación del histograma al rango de colores entre 35-50°C (Imagen 26), se aprecia un ligero cambio de color en la imagen, donde predominan principalmente las temperaturas correspondientes a colores cálidos, en torno a 40-45 °C. Se aprecia además como en el encuentro entre las tejas inferiores y superiores la temperatura desciende en torno a 5-6°C, quedando la zona central marcada por unas temperaturas más elevadas.

Imagen 25.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

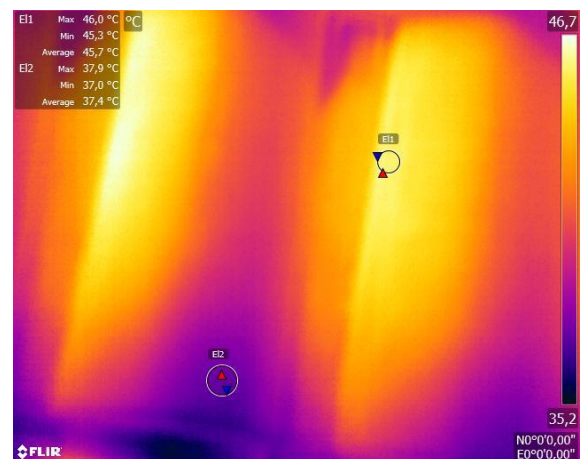
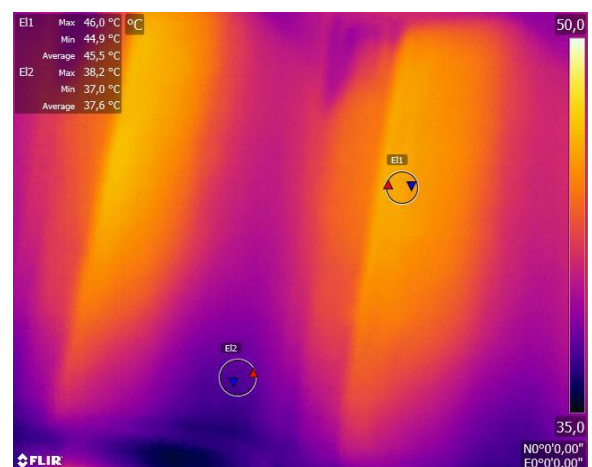


Imagen 26.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC2-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- b) "MC2-B": la temperatura máxima obtenida en esta medición es de **51.5°C**, mientras que la mínima en la zona de sol medida es de **34.2°C**, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 27). De esta forma, adaptando el rango de colores entre 35-50°C (Imagen 28), se puede observar como la imagen prácticamente no varía de tonalidad, ya que el rango es muy similar al de la imagen original. De esta forma, se observa como las temperaturas son más reducidas que en el caso anterior, ya que la zona azulada ocupa mayor superficie y los tonos cálidos que presenta la imagen son ligeramente más azulados que en el caso del punto MC2-A.

Imagen 27.

Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

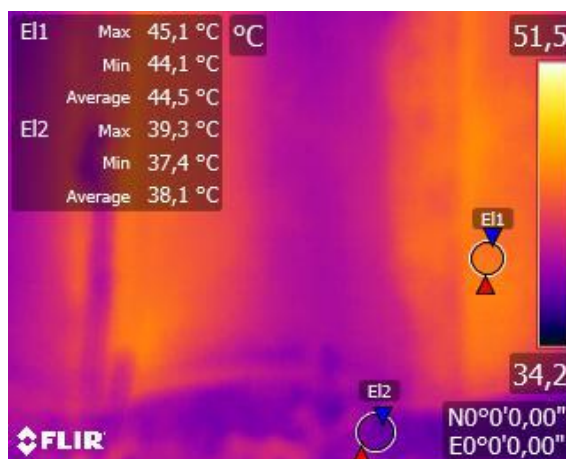
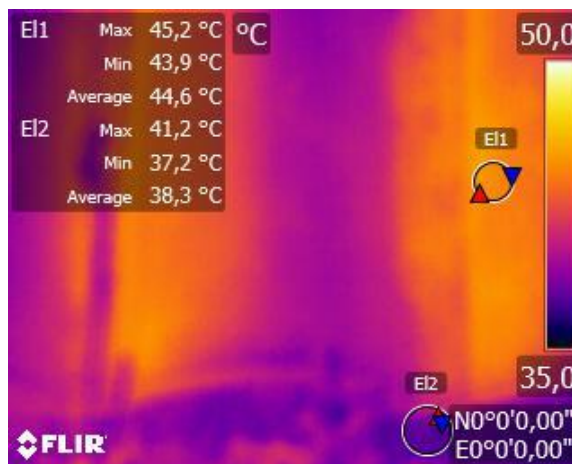


Imagen 28.

Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC2-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- c) "MC2-C": en este punto, se ha medido una temperatura máxima de 31.9°C y una mínima de 29.4°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 29). Se ha decidido ajustar el rango de colores entre 30.5-32.5°C, ya que la variación de temperatura en el espacio interior es más reducida debido a que no hay incidencia directa de la luz solar (Imagen 30). Se puede apreciar como la temperatura de la superficie interior de la cubierta ronda los 31.5 °C, quedando la imagen coloreada en tonos violetas. Cabe destacar los puntos en los que desciende la temperatura, coincidentes con las zonas de viguetas del forjado, donde aumenta la masa y por tanto la temperatura es algo menor.

Imagen 29.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

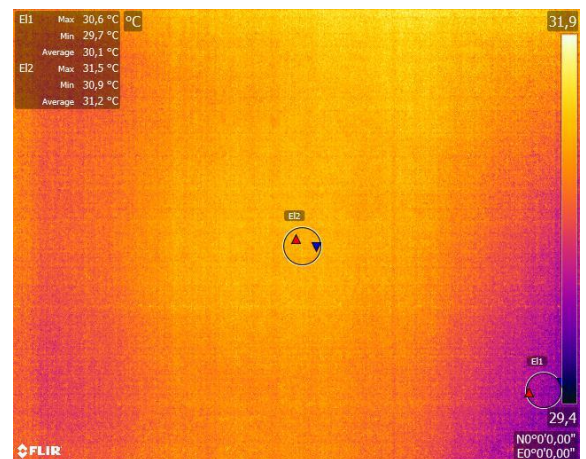
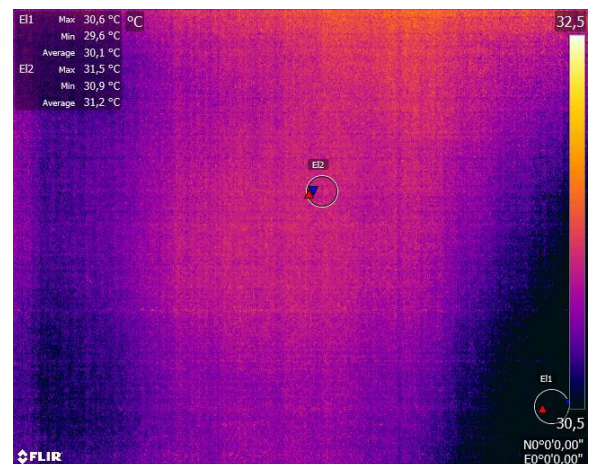


Imagen 30.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC2-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



d) "MC2-D": en este punto, la temperaturas máximas y mínimas obtenidas han sido 32.1°C y 30.2°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 31). En este caso, se ha decidido ajustar el rango de imagen entre 30.5-32.5°C (Imagen 32), siguiendo el criterio de las mediciones anteriores en cara interiores de las cubiertas. Además se observa que la variación de la imagen es mínima ya que las temperaturas medidas rondan también los 30°C. De esta forma, se observa como la temperatura aumenta en las zonas centrales, lo que significa que pasa una mayor cantidad de calor que en las zonas donde hay viguetas o vigas, ya que la masa en este último caso es mayor. Así pues, es importante señalar la diferencia de tonalidad entre este punto y la medición en el punto de la cubierta 1 MC1-D, estando en general las temperaturas interiores de la cubierta 2 más cerca de los 32°C y las de la cubierta 1 más cercanas a las 30°C.

Imagen 31.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC2-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

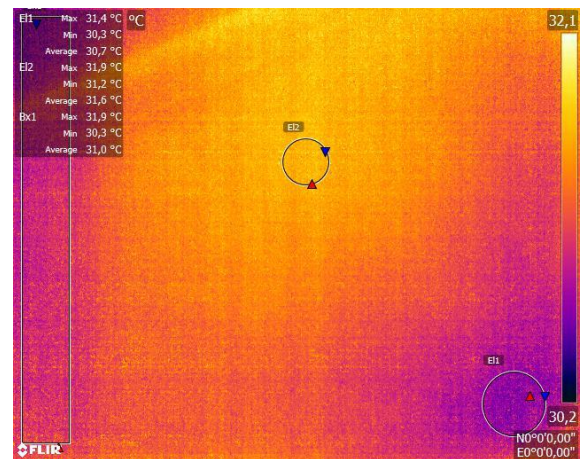
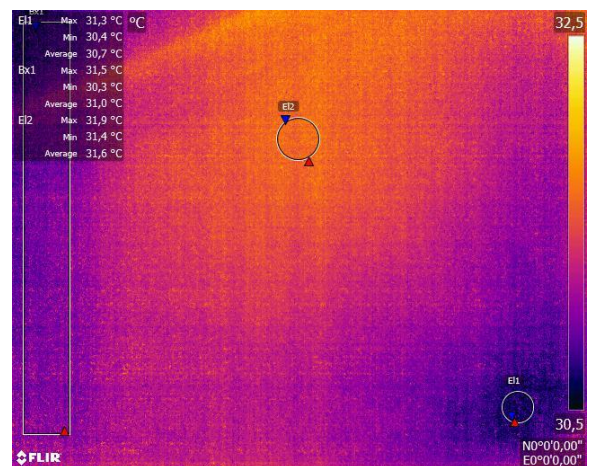


Imagen 32.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC2-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



Los datos obtenidos en esta medición (Tabla 4), muestra una variación máxima con la temperatura ambiente de 20.5°C (51.5°C en punto MC2-B) y una variación mínima de 3.2°C (34.2°C en punto MC2-B), estando las temperaturas máximas medidas en torno a 40-50°C en zonas de insolación directa y las mínimas entre 30-40°C también en condiciones de insolación directa. Los puntos MC2-C y MC2-D no son comparables con el resto de puntos medidos en esta cubierta ya que las condiciones de contorno son diferentes, sin embargo, sí será representativo en la comparación con las medidas tomadas en la superficie interior de la cubierta 1.

Tabla 4. Temperaturas medidas en Cubierta 2

PUNTO MEDIDO	MC2-A	MC2-B	MC2-C	MC2-D
FECHA Y HORA DE LA MEDICIÓN	29/07/2020	29/07/2020	29/07/2020	29/07/2020
Tª AMBIENTE	31 °C	31°C	31°C	31°C
Tª MÁXIMA MEDIDA	46.7 °C	51.5°C	31.9°C	32.1°C
Tª MÍNIMA MEDIDA	35.2 °C	34.2°C	29.4°C	30.2 °C
RANGO DE AJUSTE DE TEMPERATURAS	35-50 °C	35-50°C	30.5-32.5°C	30.5-32.5°C

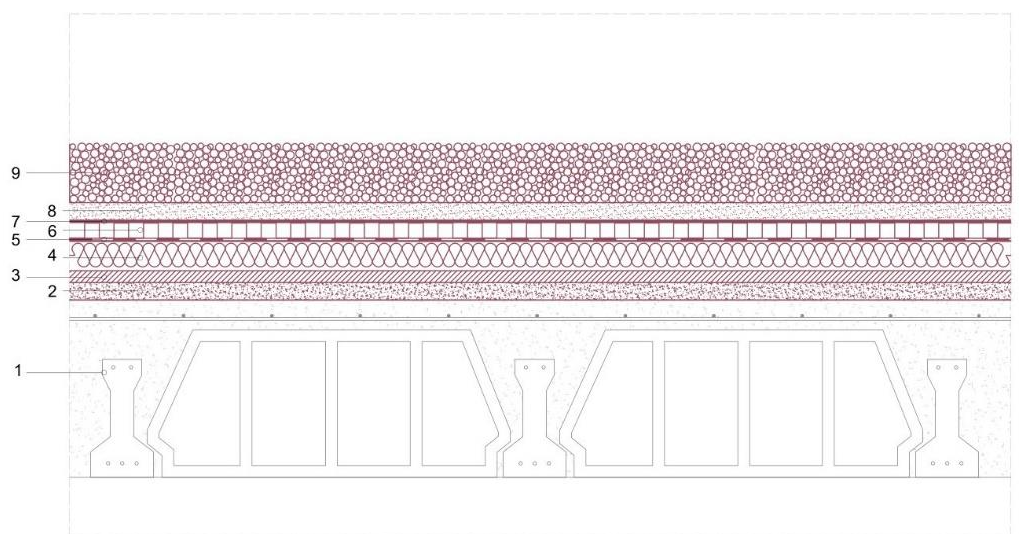
CUBIERTA 3

a) Descripción de la tipología y detalle constructivo:

La cubierta de estudio, se sitúa en el edificio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Se trata de una cubierta plana ajardinada, con zonas con acabado vegetal con sustrato y manto vegetal de aproximadamente 10cm de espesor, grava de color rojizo y pavimentada en sectores con pavimento de piedra de color beige. Está construida sobre forjado unidireccional de viguetas y bovedillas. A continuación se detalla la definición constructiva de la misma (Detalle 4).

b) Detalle constructivo:

1. Forjado de unidireccional de viguetas de hormigón y bovedillas.
2. Hormigón de pendientes (entre 1% y 5 %).
3. Capa de regularización de mortero de cemento.
4. Aislamiento térmico tipo lana de roca de 5cm.
5. Impermeabilización mediante lámina bituminosa.
6. Capa separadora drenante tipo lámina de polietileno.
7. Capa separadora tipo fieltro geotextil.
8. Capa de arena de protección de 3cm.
9. Capa de gravas de aproximadamente 10cm de espesor.



Detalle 4. Definición constructiva Cubierta 4. Elaboración propia

c) Fotografías generales



*Imagen 33.
Fotografía general de la
cubierta 3.
Elaboración propia*

d) Fotografías de detalle



*Imagen 34.
Fotografías de detalle de la
cubierta 3. A la izquierda,
zona de grava y a la derecha
zona pavimentada de
piedra de color beige.
Elaboración propia*

e) Medición Cubierta 3.

La medición realizada en la cubierta 3 (Imagen 33) se ha llevado a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. **Condiciones de contorno:** la toma de datos se ha realizado el día 19 de septiembre de 2020 entre las 16:00 y las 17:00h. La temperatura ambiente era de 31°C con nubosidad baja (medida visualmente) y con la cubierta en condiciones de insolación directa, se han medido zonas de sombra en la cubierta y zonas de encuentro con el paramento vertical. La orientación de la cubierta no es representativa por tratarse de una cubierta plana.
2. **Puntos escogidos para la toma de datos:** los puntos en los que se ha realizado la medición en esta cubierta son (Imagen 35):
 - a) Punto A de la cubierta 3: en adelante “MC3-A”. Este punto se ubica en una zona con acabado de grava e insolación directa. Es importante tener en cuenta que se ha escogido este punto por la presencia de elementos vegetales puntuales que pueden ser interesantes para el análisis.
 - b) Punto B de la cubierta 3: en adelante “MC3-B”. Se trata de un punto con condiciones similares al punto MC3-A pero en condiciones de sombra.
 - c) Punto C de la cubierta 3: en adelante “MC3-C”. En este caso se ha medido la superficie pavimentada en piedra de la cubierta, con el fin de analizar la diferencia con la zona de grava.
 - Punto D de la cubierta 3: en adelante “MC3-D”. Se trata de un punto en el encuentro de la cubierta con el muro de cerramiento del edificio.

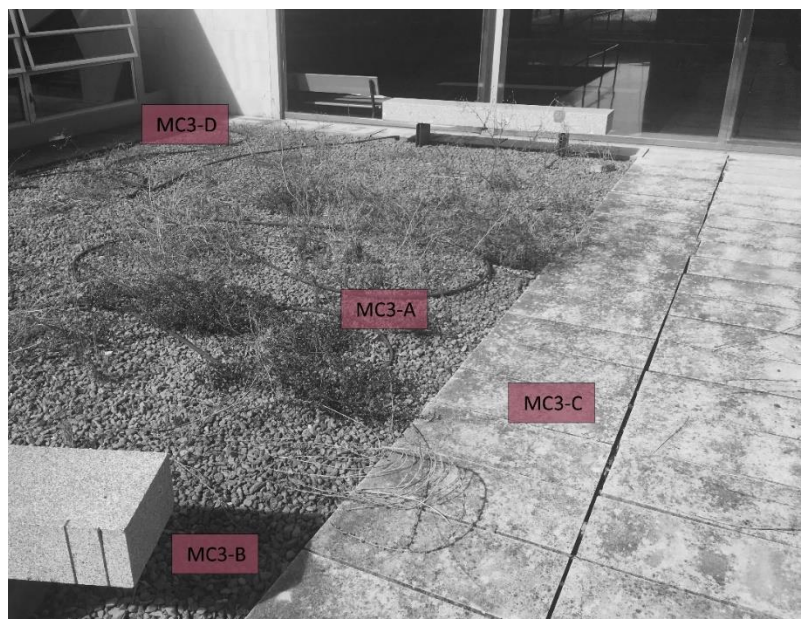
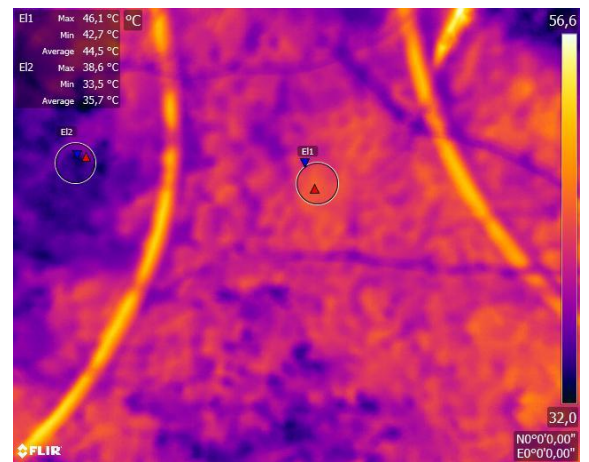


Imagen 35.
Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 3.
Elaboración propia

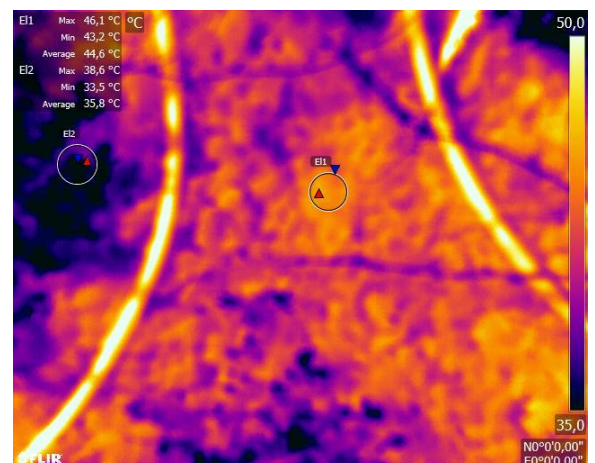
3. Resultados medición Cub.3: los resultados obtenidos en los diferentes puntos son los siguientes.

- a) **"MC3-A":** la temperatura máxima obtenida en esta medición es de **56.6°C**, mientras que la mínima medida es de **32°C**, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 36). Aplicando el ajuste de colores entre 35-50°C (Imagen 37), se aprecia una ligera variación en la imagen en su tonalidad. Cabe destacar las zonas azuladas de la imagen, correspondientes a zonas donde hay presencia de vegetación y la temperatura desciende, en las zonas donde solo hay grava, la temperatura aumenta.

*Imagen 36.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.*



*Imagen 37.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC3-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.*



- b) "MC3-B": la temperatura máxima obtenida en esta medición es de 25.7°C, mientras que la mínima es de 17.5°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 38). En este caso se ha decidido ajustar el histograma a un rango entre 20-25°C (Imagen 39), ya que un rango más amplio no se considera representativo en este caso debido a las bajas temperaturas medidas en la imagen. De esta forma se puede apreciar como las zonas donde la vegetación aparece baja la temperatura quedando cerca de los 20°C, y aumenta hasta los tonos violeta en las zonas donde solo hay grava. Se aprecia pues una reducción de la temperatura general de la cubierta respecto al punto MC3-A.

Imagen 38.

Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

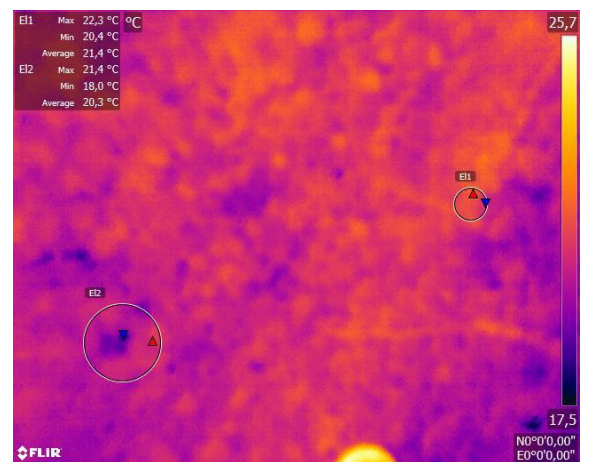
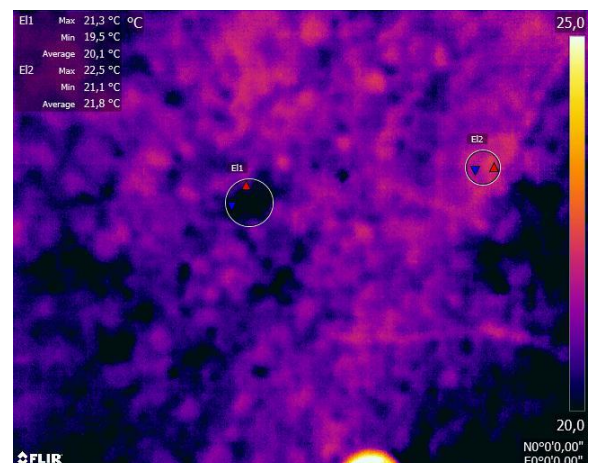


Imagen 39.

Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC3-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- c) "MC3-C": en este punto, se ha medido una temperatura máxima de 38.3°C y una mínima de 29.8°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 40). En este punto, por ser una zona con insolación directa se ha ajustado el rango de colores entre 35-50°C (Imagen 41). La diferencia de tonalidad presentada tras el ajuste es muy pronunciada, de tal forma que la imagen cuenta con presencia mayoritariamente de tonos azul oscuro y algunas zonas de color violeta, es decir, con temperaturas cercanas a los 35°C.

Imagen 40.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

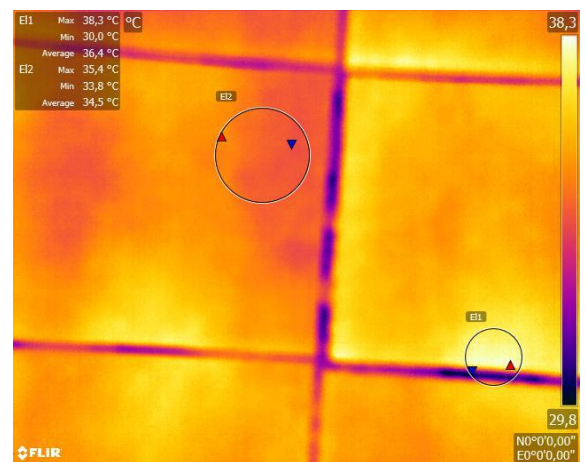


Imagen 41.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC3-C, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- d) "MC3-D": en este punto, la temperaturas máximas medida ha sido de **24.2°C** y la mínimas **19.6°C**, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 42). En este caso, se ha decidido ajustar el rango de imagen entre 20-25°C (Imagen 43), siguiendo el criterio de las mediciones anteriores en zonas de sombra (medición en el punto MC3-D). Se observa como en este caso la imagen prácticamente no cambia de tonalidad en general, habiendo una clara diferencia de temperaturas entre la superficie de la cubierta y los paramentos verticales, posiblemente producida por la acumulación de calor de los muros de cerramiento.

Imagen 42.

Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC3-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

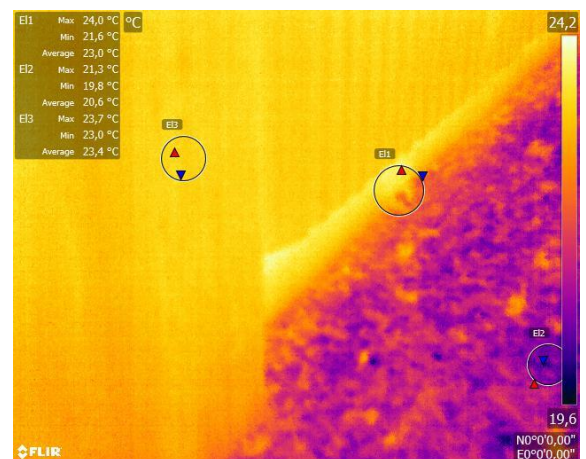
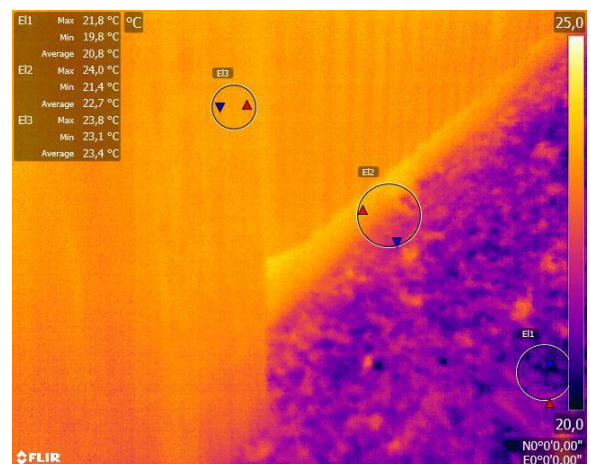


Imagen 43.

Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC3-D, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



Los datos obtenidos en esta medición (Tabla 5), muestra una variación máxima con la temperatura ambiente de 20.6°C (56.6°C en punto MC3-B) y una variación mínima de 1°C (32°C en punto MC2-B), estando las temperaturas máximas medidas en torno a 40-50°C en zonas de insolación directa y las mínimas entre 20-30°C en sombra. Cabe destacar que en esta cubierta no se han realizado mediciones en la superficie interior, ya que con los instrumentos utilizados se miden temperaturas directamente de superficies y dadas las característica de este edificio (existencia de falsos techos), se considera que las mediciones en estas condiciones no serían representativas para un análisis del confort en espacio interior. Motivo por el que se analizarán las temperaturas obtenidas en estas cubiertas únicamente en relación al efecto isla de calor estudiado.

Tabla 5. Temperaturas medidas en Cubierta 3

PUNTO MEDIDO	MC3-A	MC3-B	MC3-C	MC3-D
FECHA Y HORA DE LA MEDICIÓN	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020
Tª AMBIENTE	31 °C	31°C	31°C	31°C
Tª MÁXIMA MEDIDA	56.6 °C	25.7°C	38.3°C	24.2°C
Tª MÍNIMA MEDIDA	32 °C	17.5°C	29.8°C	19.5 °C
RANGO DE AJUSTE DE TEMPERATURAS	35-50 °C	35-50°C	30.5-32.5°C	30.5-32.5°C

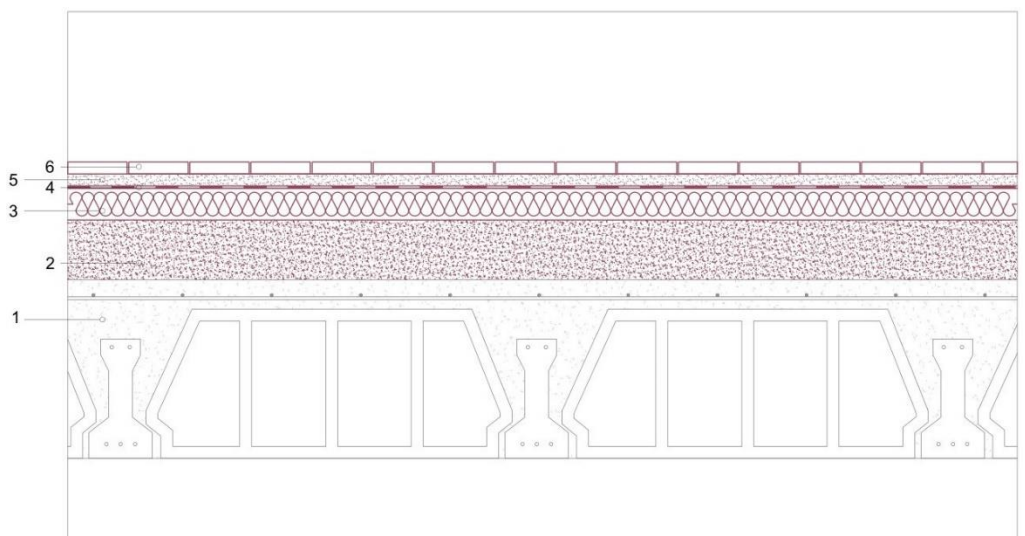
CUBIERTA 4

a) Descripción de la tipología y detalle constructivo:

La cubierta de estudio, se sitúa en un edificio de viviendas plurifamiliares, construido en el año 1995 en el barrio de Benimaclet (Valencia). Se trata de una cubierta plana transitable con acabado de pavimento cerámico de color rojizo. A continuación se detalla la definición constructiva de la misma (Detalle 3). Está situada sobre forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.

b) Detalle constructivo:

1. Forjado unidireccional de viguetas de hormigón y bovedillas
2. Hormigón de pendientes (10 cm de espesor medio).
3. Aislante térmico tipo lana de roca de 5cm.
4. Lámina impermeable autoprottegida.
5. Mortero de agarre 2-3cm.
6. Pavimento cerámico.



Detalle 4. Definición constructiva Cubierta 4. Elaboración propia

c) Fotografías generales



Imagen 44
Fotografía general de la
cubierta 4.
Elaboración propia

d) Fotografías de detalle



Imagen 45.
Fotografía de detalle de la
cubierta 4.
Elaboración propia

e) Resultados medición Cubierta 4.

La medición realizada en la cubierta 2 (Imagen 44) se ha llevado a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. **Condiciones de contorno:** la toma de datos se ha realizado el día 20 de septiembre de 2020 entre las 16:00 y las 17:00h. La temperatura ambiente era de 30°C con nubosidad media (medida visualmente) y con la cubierta en condiciones de insolación directa. Además, se han medido puntos de sombra en la cubierta. La orientación no es representativa por tratarse de una cubierta plana.
2. **Puntos escogidos para la toma de datos:** los puntos escogidos para la realización de la medición son los siguientes (Imagen 46):
 - a) Punto A de la cubierta 4: en adelante "**MC4-A**". Se trata de la zona central de la cubierta, en este caso medida en zona de sombra.
 - b) Punto B de la cubierta 4: en adelante "**MC4-B**". Se trata del encuentro entre la cubierta y el paramento vertical. En este punto se analiza tanto la zona de cubierta plana como dicho encuentro. En condiciones de insolación directa.



Imagen 46. Señalización de puntos de estudio en la superficie exterior de la cubierta 4. Elaboración propia

3. Resultados medición Cub.4: los resultados obtenidos en los diferentes puntos son los siguientes.

a) "MC4-A": la temperatura máxima obtenida en esta medición es de 39.1°C, mientras que la mínima en la zona de sol medida es de 31.3°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 47). Aplicando la adaptación del histograma al rango de colores entre 35-50°C (Imagen 48), se aprecia un cambio radical en la tonalidad, ya que al tratarse de una imagen en sombra la temperatura superficial es más reducida y prácticamente toda la imagen queda en tonos azules, destacando el tono violeta de las juntas del pavimento, donde la temperatura se eleva en aproximadamente 8-10°C.

Imagen 47.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC4-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

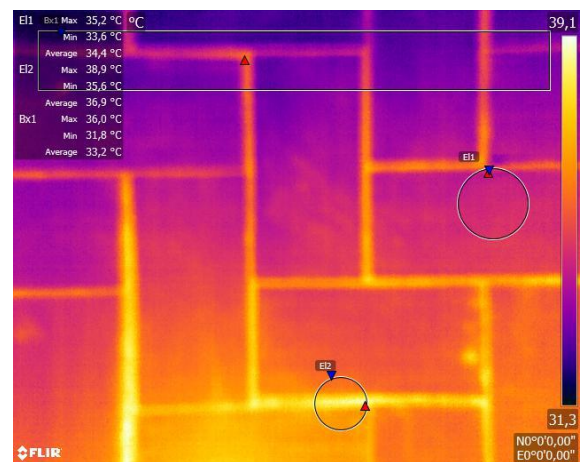
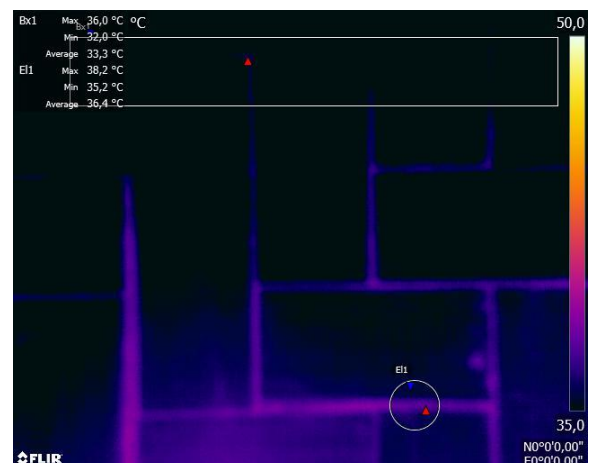


Imagen 48.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC4-A, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



- b) "MC4-B": la temperatura máxima obtenida en esta medición es de 46.3°C, mientras que la mínima en la zona de sol medida es de 31.1°C, como se puede observar en la imagen sin ajustar (Imagen 49). De esta forma, adaptando el rango de colores entre 35-50°C (Imagen 50), se puede observar como la imagen prácticamente no varía de tonalidad, ya que el rango es muy similar al de la imagen original. De esta forma, se observa como en la zona de cubierta con insolación directa, es decir, en la zona pavimentada, la temperatura ronda los 45°C, en torno a 10 grados más que la misma cubierta con condiciones de insolación indirecta (punto MC4-A). La temperatura en la zona del antepecho de la cubierta se reduce considerablemente ya que la superficie está orientada hacia el sur, por lo que en la hora de la toma de datos se encontraba totalmente en sombra.

Imagen 49.
Medición sin ajuste de histograma correspondiente al punto MC4-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.

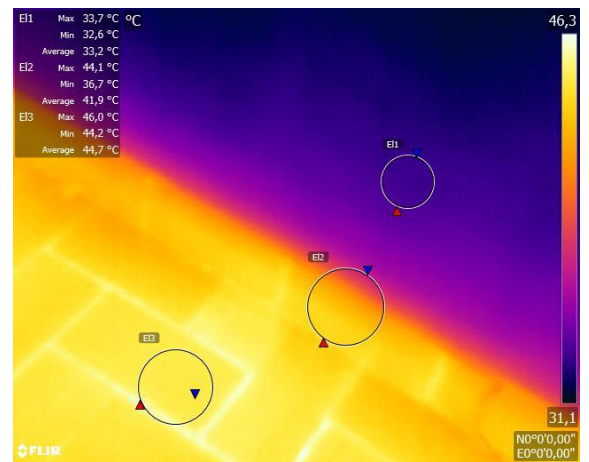
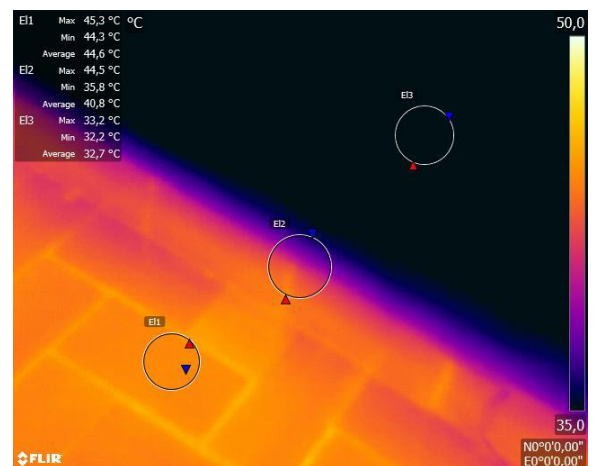


Imagen 50.
Medición con ajuste de histograma de temperaturas entre 35-50°C, correspondiente al punto MC4-B, con señalización de valores de temperatura característicos de la imagen. Elaboración propia mediante el programa FLIRTools.



Los datos obtenidos en esta medición (Tabla 6), muestra una variación máxima con la temperatura ambiente de 16.3°C (46.3°C en punto MC4-B) y una variación mínima de °C (1.1°C en punto MC4-B), estando las temperaturas máximas medidas en torno a 40-45°C en zonas de insolación directa y las mínimas alrededor de los 30°C en zonas de sombra. Al igual que ocurre en el estudio de la cubierta 3, no se han realizado mediciones en la superficie interior de la cubierta 4, siendo la justificación similar al caso anterior.

Tabla 6. Temperaturas medidas en Cubierta 4

PUNTO MEDIDO	MC4-A	MC4-B
FECHA Y HORA DE LA MEDICIÓN	20/09/2020	20/09/2020
Tª AMBIENTE	30 °C	30°C
Tª MÁXIMA MEDIDA (CON AJUSTE DE HISTOGRAMA)	39.1 °C	46.3°C
Tª MÍNIMA MEDIDA (CON AJUSTE DE HISTOGRAMA)	31.3 °C	31.1°C
RANGO DE AJUSTE DE TEMPERATURAS	35-50 °C	35-50°C

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS DE LA EXP. 1

Tras la realización de la medición y el análisis de resultados, se obtienen las siguientes conclusiones específicas de la Experiencia 1:

- a) **Las cubiertas vegetales (Cub. 1) presentan temperaturas más reducidas que las cubiertas convencionales de teja cerámica (Cub. 2), debido al acabado de la superficie exterior de ambas tipologías.**
- b) **Las cubiertas de grava (Cub. 3) presentan temperaturas más elevadas que las cubiertas convencionales de pavimento cerámico (Cub. 4). Esto se debe a que a pesar de la tipología, la grava presenta un color más oscuro que el pavimento cerámico, absorbiendo por tanto, mayor radiación. Sin embargo este hecho no es significativo de su funcionamiento térmico.**
- c) **Las cubiertas vegetales con la mayoría de su superficie ajardinada presentan temperaturas más reducidas que las cubiertas vegetales con acabado de grava o baja densidad de plantaciones.**
- d) **Se ha observado una reducción de las temperaturas medidas en las superficies de colores más claros, de esta forma, una cubierta vegetal con acabado de grava en tonos oscuros absorbe mayor cantidad de calor que esa misma cubierta pavimentada en color blanco (véase el estudio de la Cub. 3), lo cual no indica que el funcionamiento de la cubierta sea más eficiente en referencia a condiciones de confort en el interior del edificio.**
- e) **Las cubiertas de grava (Cub. 3), en las zonas donde existe vegetación de baja densidad, presentan temperaturas más bajas que las cubiertas tradicionales pavimentadas (Cub. 4). Es decir, las cubiertas vegetales presentan temperaturas más bajas que las cubiertas tradicionales de pavimento cerámico.**
- f) **En las mediciones realizadas en las cubiertas vegetales (Cub. 1 y Cub. 3), se ha observado un aumento de temperatura en torno a 10 °C en las zonas donde la vegetación escasea, es decir, los espacios que quedan entre la vegetación quedando como capa superficial el sustrato (Cub.1) o la grava (Cub. 3). Esta diferencia de temperatura se incrementa sobre todo en las mediciones realizadas en zonas con insolación directa.**
- g) **En las tomas realizadas en zonas de sombra se ha observado una notable reducción de la temperatura, en algunos casos llegando a variaciones de 20°C (véase el estudio de la Cub. 1). Esto indica que para una cubierta con las mismas condiciones de contorno y una medición realizada en la misma fecha y hora, es determinante la influencia directa de la luz solar.**

- h) Comparando las imágenes térmicas modificadas con el histograma mediante el programa FLIRTTools, se observa que, en general, **las cubiertas vegetales (Cub.1 y Cub. 3) presentan colores más azulados, es decir, temperaturas cercanas a los 35°C, mientras que las cubiertas tradicionales (Cub. 2 y Cub.4) presentan tonalidades más cálidas representativas de temperaturas cercanas a 50°C.**
- i) En las imágenes térmicas con modificación de histograma de las cubiertas convencionales (Cub. 2 y Cub.4) se observa mayor variación de tonalidades dentro de una misma imagen respecto a las cubiertas vegetales (Cub. 1 y Cub. 3). Es decir, **las cubiertas convencionales presentan temperaturas más inestables en su superficie.**
- j) En las medidas realizadas en las superficies interiores de las cubiertas de la vivienda sostenible (Cub. 1 y Cub.2), se aprecia una diferencia de temperatura de **1°C**, dándose la temperatura más baja en la cubierta vegetal (Cub.1). Este valor se considera significativo, ya que tratándose del espacio interior de la vivienda y teniendo en cuenta las condiciones de contorno (ambas cubiertas sirven al mismo espacio interior), la temperatura interior de la vivienda acaba unificándose a partir de las temperaturas más bajas y más altas que transmiten ambas cubiertas. Aunque este hecho no es objeto de estudio de este TFG, sí se entiende que si el espacio interior de la vivienda estuviera compartimentado de forma que cada cubierta sirviera a un único espacio, sin tener contacto con la otra tipología, esta diferencia de temperaturas en las superficies sería más elevada. **De esta forma, se concluye que el calor transmitido al espacio interior de la vivienda es menor en las cubiertas ajardinadas.**

3.2. MEDICIÓN DE TEMPERATURAS MEDIANTE EL SATÉLITE LANDSAT-8. EXPERIENCIA 2

INTRODUCCIÓN

Esta experiencia, en adelante “Exp. 2”, ha consistido en el análisis, de forma puntual, del efecto isla de calor en la ciudad de Valencia a partir de imágenes obtenidas mediante el satélite Landsat-8. Para ello se ha seleccionado un rango en la ciudad de Valencia desde el que poder extraer conclusiones con una única imagen que abarcara una superficie de características concretas para el análisis y simplificar así el proceso. El lugar escogido en base a unas conclusiones extraídas en un análisis previo ha sido la zona norte de la ciudad de Valencia, debido a que en ella encontramos zona de huerta en un entorno muy próximo al centro urbano, lugar en el que además se han realizado dos tomas de datos en cubiertas de edificios para la experiencia 1. De esta forma, se ha procedido a una recogida de datos para su posterior análisis y extracción de conclusiones, como son: la elección de la fecha de análisis, las características climáticas de la zona en el día de la recogida de datos y la descarga de las imágenes proporcionadas por el satélite en la plataforma “Earth-Explorer” que publica el USGS en su página web. Posteriormente, se han procesado las imágenes con el programa “Envi 4.5”, para así extraer los datos de emisividad necesarios para el análisis y se han realizado perfiles de temperatura de la ciudad a partir de imágenes obtenidas de Landsat.

OBJETIVOS

El objetivo principal ha sido conocer el impacto del calor generado por las cubiertas de los edificios de la ciudad de Valencia y comparar además, el calor emitido en zonas de huerta y zonas urbanas para poder analizar así la influencia de las construcciones urbanas en el efecto isla de calor en la ciudad de Valencia, de forma muy puntual en una zona específica.

HIPÓTESIS

Las hipótesis formuladas antes del análisis de los resultados obtenidos son las siguientes:

- a) Obtención de una temperatura más elevada en la zona urbana de la ciudad de Valencia con respecto a la zona rural más cercana.
- b) Descenso de la temperatura a medida que desciende la densidad de población en la zona periférica de la ciudad de Valencia.
- c) Influencia de la tipología de cubierta en la emisión de calor al ambiente de la ciudad, siendo más reducida la emisión de cubiertas vegetales respecto a cubiertas pavimentadas tradicionales.

METODOLOGÍA EXP. 2

Para llevar a cabo esta investigación se ha seguido el siguiente procedimiento:

- a) Análisis previo de las herramientas y métodos utilizados para la medición y caracterización de la ICU en las ciudades.
- b) Elección de las herramientas a utilizar para la medición de la ICU. Se ha utilizado el satélite Landsat-8, ya que gracias al sistema de funcionamiento del mismo se pueden obtener valores de reflectividad muy característicos para el caso de estudio.
- c) Elección del lugar de análisis y acotación de la zona para realizar un estudio más concreto y simplificar el proceso. La zona escogida ha sido la zona norte de la ciudad de Valencia en base a:
 1. **Características geográficas:** la zona norte de la ciudad de Valencia linda en la Ronda Norte con una extensa zona de huerta. Esta elección, aunque no implica obtener los mayores niveles de reflectividad de la ciudad de Valencia, que según se ha estudiado y explicado anteriormente estarían en la zona más concéntrica de la ciudad, supone sin embargo, un punto de análisis muy característico para la observación del efecto isla de calor y contrastar la diferencia de temperaturas emitidas al ambiente entre la zona urbana y rural de la ciudad de Valencia y contrastar así el efecto ICU en la zona periférica.
 2. **Mediciones realizadas en la experiencia 1:** las cubiertas 3 y 4 en las que se han recogido datos para la Experiencia 1 se ubican en la zona norte de la ciudad de Valencia (Universidad Politécnica de Valencia y barrio de Benimaclet). De esta forma, se puede estudiar el efecto global de la isla de calor en una zona en la que se conoce el funcionamiento puntual de las cubiertas tradicionales y de las cubiertas de grava. Cabe destacar, que la fecha de medición escogida para el análisis de las imágenes Landsat dista en torno a 30 días de la fecha de medición de temperaturas en estas cubiertas. El porqué de esta elección se justifica posteriormente, sin embargo la temperatura en el día de medición de las cubiertas (19-20 de septiembre) es similar, con una temperatura media de 25°C y una máxima y mínima de 31°C y 19°C, respectivamente. Las temperaturas el día de toma de datos del satélite (31 de julio) son 26°C (temperatura media), 31°C (máxima) y 21°C (mínima).

- d) Elección de la fecha de toma de datos: el satélite Landsat-8, como se ha mencionado, realiza mediciones cada 16 días en torno a las 9 de la mañana. Teniendo este dato en cuenta, se ha buscado la imagen más cercana temporalmente a la toma de datos en la cubierta 1 y 2 de la Experiencia 1, ya que lo que se pretende es comparar el calor emitido al ambiente en zonas urbanas y rurales. De esta forma, si las mediciones mencionadas en la experiencia 1 comparan el funcionamiento de dos tipos de cubierta (vegetal y tradicional) en las mismas condiciones geográficas y climáticas, se puede acercar la toma de datos del satélite a las mismas condiciones climáticas y temporales. Se ha valorado, así como descartado, ubicar la toma de datos en la misma posición geográfica, ya que la vivienda en cuestión se sitúa en zona rural, donde el efecto isla de calor es menos notable. De esta forma, el día escogido para el análisis de las imágenes Landsat es el 31 de julio de 2020, tan solo dos días después de la toma de datos en las cubiertas 1 y 2. Con una temperatura media de 26°C y una máxima y mínima de 31°C y 21°C, respectivamente.
- e) Elección de los diferentes puntos de la ciudad a analizar: se ha intentado que el rango de análisis de las imágenes se aproximen lo máximo posible a la ubicación de las cubiertas 3 y 4 analizadas en la Experiencia 1.
- f) Descarga de las imágenes Landsat-8: este procedimiento se realiza a través de la plataforma digital "Earth Explorer" que proporciona el USGS:
1. **Definición de un polígono aproximado a la zona de análisis** en el mapa proporcionado por la aplicación.
 2. **Selección del rango de fecha para obtener las imágenes de Landsat-8** más próximas a la fecha seleccionada para el análisis. Se ha seleccionado un rango del 1 de julio al 1 de agosto de 2020.
 3. **Definición del conjunto de datos de descarga:** Landsat/Landsat Collection 1/Landsat Collection 1 Level-1/Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level 1.
 4. **Configuración de elementos adicionales.** Se han buscado condiciones climáticas de nubosidad similares a las que había el día de toma de datos en las cubiertas 1 y 2. Dicho día la nubosidad era prácticamente nula, por lo que se ha configurado la aplicación para buscar imágenes entre el 1 de julio y el 1 de agosto con una nubosidad inferior al 10%.
 5. Una vez obtenidas todas las imágenes que cumplen dichos requisitos, se ha seleccionado la **imagen correspondiente al día 31 de julio de 2020**, por ser la más cercana a la fecha de realización de las mediciones térmicas en la cubierta 1 y 2 (29 de julio) y la más aproximada a las condiciones de partida propuestas.

- g) Procesado de imágenes: la plataforma de descarga proporciona un archivo .zip con las imágenes y datos de información correspondientes a las bandas espectrales de 1 a 11 (Anexo 2). Una vez obtenidas y descomprimidas, se ha procedido a su procesado mediante la técnica de pansharpening, descrita anteriormente. De esta forma se combinarán imágenes de datos térmicos obtenidas mediante TIRS (bandas 10 y 11) con imágenes pancromáticas obtenidas de la banda 8 de Landsat-8, obteniendo datos térmicos de 15 m de resolución, según explicado en los apartados 2.3.3 y 2.3.4 del cuerpo teórico. Es decir, según mediante el programa informático "Envi 4.5", a partir de un archivo extensión _MTL, se han modificado las imágenes para obtener los datos necesarios para el estudio, aplicando una serie de correcciones.
- h) Consideraciones a tener en cuenta para la corrección de imágenes: como se ha descrito anteriormente, dos de las correcciones aplicadas usualmente a este tipo de imágenes son la topográfica y la atmosférica. No obstante, se ha descartado realizar una corrección topográfica ya que debido a las características del terreno de la ciudad de Valencia, se puede considerar una superficie prácticamente plana, al menos para el rango de estudio en este caso. Sin embargo, sí se ha aplicado la corrección atmosférica, ya que aunque solo se estudia una única imagen en un día concreto, se considera que puede haber variaciones entre los resultados obtenidos con y sin corrección, por lo que se aplica dicho ajuste para obtener resultados más óptimos.
- i) Realización de perfiles de temperatura del territorio con el fin de compararlos con los resultados obtenidos y relacionarlos con el efecto isla de calor urbana en la ciudad de Valencia. Se han realizado dos perfiles con orientación Este-Oeste y uno con orientación Norte-Sur.
- j) Análisis de resultados
- k) Conclusiones específicas de la Experiencia 2.

RESULTADOS OBTENIDOS EXP. 2

Caracterización de la zona de estudio.

Como se ha explicado anteriormente en la metodología, se ha escogido la zona norte periférica de la ciudad de Valencia como zona de acercamiento al estudio del efecto isla de calor urbana. Concretamente, se ha insertado un polígono con la zona definida en la plataforma "Earth Explorer" proporcionada por el USGS (desde donde se extrae la información de las imágenes satelitales de Landsat-8). Dicho polígono (Imagen 51), abarca la zona noreste de la ciudad, desde el Barranco del Carraixet, la Universidad Politécnica de Valencia (lugar de ubicación de la cubierta 3), el barrio de Benimaclet (ubicación de la cubierta 4) Y la zona este del centro de la ciudad hasta el puerto de Valencia. Cabe destacar que las imágenes obtenidas de Landsat-8 con las que se ha trabajado no contienen únicamente la zona señalada, sino que abarcan una zona mucho más extensa dentro de la cual se ubica dicho polígono.



Imagen 51. Acotación de la zona de estudio en la ciudad de Valencia para obtener las imágenes satelitales de Landsat- 8 con "Earth-Explorer". Elaboración propia.

Generación de imágenes mediante la plataforma web USGS

Para la obtención de resultados se ha llevado a cabo el proceso descrito anteriormente en la metodología de esta experiencia. Para ello se han llevado a cabo una serie de ajustes desde la plataforma web "Earth-Explorer" tras la introducción del polígono descrito anteriormente. De tal forma que la imagen escogida según los datos previos introducidos es la imagen del día 31 de julio de 2020 con una nubosidad menor al 10%. Esta imagen tiene una huella (Imagen 52) que abarca prácticamente toda la zona sureste de la Comunidad Valenciana. Así pues, aunque esta imagen recoge datos de una gran parte de la superficie del Mar Mediterráneo cercana a la costa de la que no se van a extraer datos representativos para la investigación, también abarca toda la zona acotada anteriormente en el polígono descrito (Imagen 51). Por tanto, esta imagen se considera representativa para el análisis de los resultados.

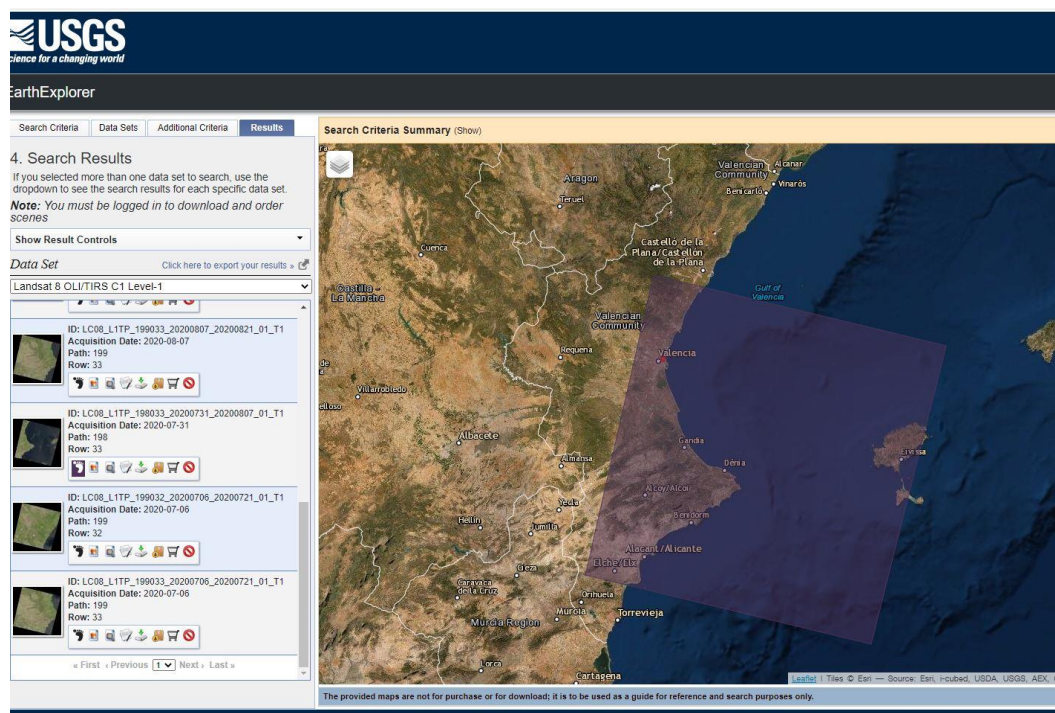


Imagen 52. Captura de pantalla de la plataforma "Earth-Explorer" referente a la huella de la zona de análisis obtenida tras la introducción de los datos previos referentes a fecha y condiciones de nubosidad (descritas en la metodología de esta experiencia). La huella mencionada se refiere al rectángulo rosado superpuesto a la superficie terrestre que aparece en la imagen. A partir de ella se obtiene toda la información generada por Landsat-8 en todas sus bandas espectrales. Elaboración propia.

Una vez descargado el archivo proporcionado por la plataforma "Earth-Explorer", se obtienen las siguientes imágenes de las 11 bandas espectrales de Landsat-8 (Imagen 53) y un archivo extensión .txt con los datos recogidos en las mismas (Anexo 2).

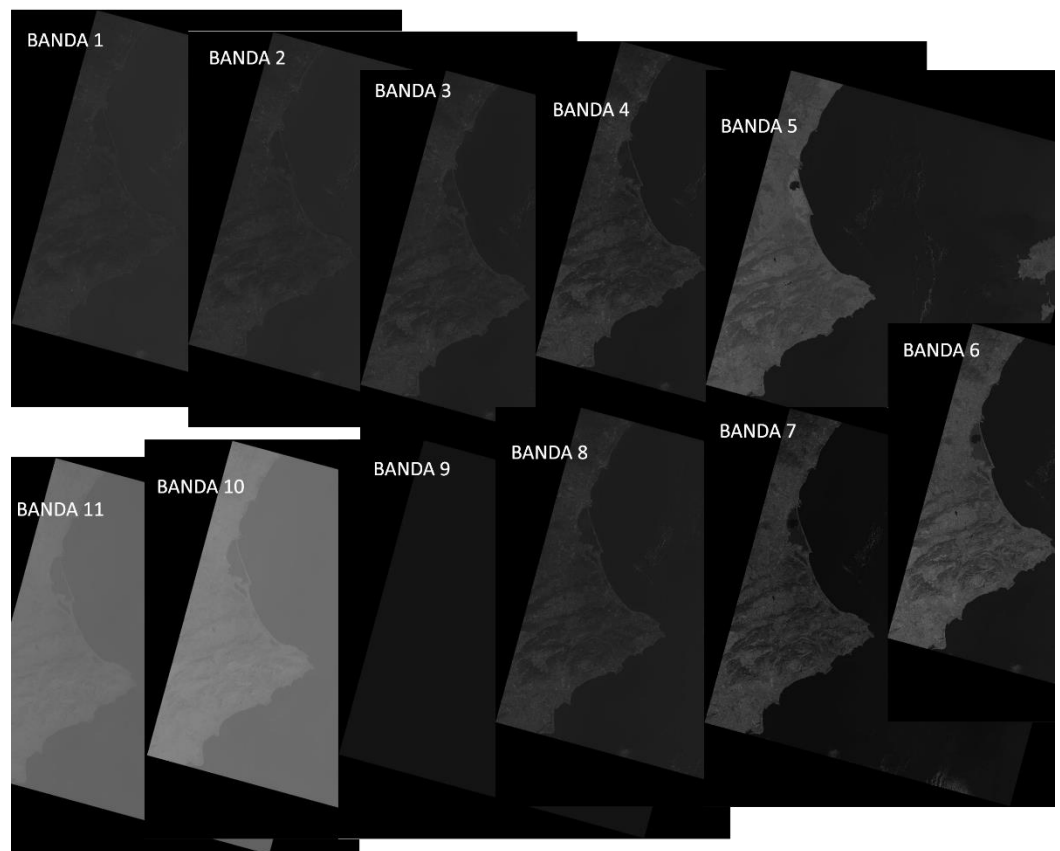


Imagen 53. Recopilación de imágenes térmicas de Landsat de las Bandas 1 a 11. Extraídas mediante la plataforma "Earth-Explorer". Estas imágenes se corresponden con el día 31 de julio de 2020 al 10% de nubosidad. Así pues,, han sido las utilizadas para la elaboración de la Experiencia 2. Elaboración propia.

Respecto al documento de texto, los datos aportados en él se pueden clasificar en dos tipos:

- a) Localización de la imagen (Imagen 54): satélite mediante el que se ha generado, bandas espectrales con las que se trabaja, unidades...
- b) Características de las bandas (Imagen 55): información contenida en la imagen en relación a cada banda espectral.

```
GROUP = FILE_HEADER
LANDSAT_SCENE_ID = "LC81980332020213LGN00"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
NUMBER_OF_BANDS = 11
BAND_LIST = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
END_GROUP = FILE_HEADER
GROUP = PROJECTION
ELLIPSOID_AXES = (6378137.000000, 6356752.314200)
MAP_PROJECTION = "UTM"
PROJECTION_UNITS = "METERS"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 31
PROJECTION_PARAMETERS = (0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000)
UL_CORNER = ( 156900.000, 4428900.000)
UR_CORNER = ( 393000.000, 4428900.000)
LL_CORNER = ( 156900.000, 4188900.000)
LR_CORNER = ( 393000.000, 4188900.000)
END_GROUP = PROJECTION
GROUP = EPHEMERIS
EPHEMERIS_EPOCH_YEAR = 2020
EPHEMERIS_EPOCH_DAY = 213
EPHEMERIS_EPOCH_SECONDS = 38216.716060
NUMBER_OF_POINTS = 54
EPHEMERIS_TIME = ( 0.000000, 1.000000, 2.000000, 3.000000, 4.000000,
5.000000, 6.000000, 7.000000, 8.000000, 9.000000,
10.000000, 11.000000, 12.000000, 13.000000, 14.000000,
15.000000, 16.000000, 17.000000, 18.000000, 19.000000,
20.000000, 21.000000, 22.000000, 23.000000, 24.000000,
25.000000, 26.000000, 27.000000, 28.000000, 29.000000,
30.000000, 31.000000, 32.000000, 33.000000, 34.000000,
35.000000, 36.000000, 37.000000, 38.000000, 39.000000,
40.000000, 41.000000, 42.000000, 43.000000, 44.000000,
45.000000, 46.000000, 47.000000, 48.000000, 49.000000,
50.000000, 51.000000, 52.000000, 53.000000)
```

Imagen 54. Información parcial contenida en el Anexo 1

```
GROUP = RPC_BAND11
BAND11_NUMBER_OF_SCAS = 3
BAND11_NUM_LIT_LINES = 8001
BAND11_NUM_LIT_SAMPS = 7871
BAND11_LIT_IMAGE_CORNER_LINES = ( 8.595521, 1667.463057, 7990.623086, 6308.871477)
BAND11_LIT_IMAGE_CORNER_SAMPS = ( 1717.836080, 7866.592719, 6149.716243, 6.642896)
BAND11_NUM_LIR_LINES = 2701
BAND11_NUM_LIR_SAMPS = 640
BAND11_PIXEL_SIZE = 30.000
BAND11_START_TIME = 7.418347
BAND11_LINE_TIME = 0.014279897
BAND11_MEAN_HEIGHT = 1000.000
BAND11_MEAN_LIR_LINE_SAMP = (1353.971, 959.024)
BAND11_MEAN_LIT_LINE_SAMP = (3790.473, 3972.313)
BAND11_MEAN_SAT_VECTOR = (-0.004335159, -0.018423515, 0.995935986)
BAND11_SAT_X_NUM_COEF = (-8.843672e-05, -1.326385e-06, -4.720397e-05, -6.431935e-09, -3.603764e-05,
-3.204982e-11, -9.515074e-11, -1.850831e-12, -3.143795e-14, 1.426882e-15)
BAND11_SAT_X_DEN_COEF = ( 5.834009e-06, 0.000000e+00, -1.404274e-06, -1.199021e-05, 4.992360e-11,
5.085231e-10, 9.408957e-10, -3.259667e-15, 2.233569e-16)
BAND11_SAT_Y_NUM_COEF = (-6.599305e-04, 4.714332e-05, -1.319976e-06, -2.589760e-08, -1.491068e-04,
3.976237e-12, 6.728358e-11, 1.934014e-10, -1.372701e-14, -9.918234e-16)
BAND11_SAT_Y_DEN_COEF = (-5.060285e-08, 7.746528e-07, -1.407340e-06, 0.000000e+00, 8.437295e-11,
5.830088e-10, 9.282960e-10, 1.156234e-13, 1.474916e-15)
BAND11_SAT_Z_NUM_COEF = (-3.523303e-03, 4.667277e-07, -1.133395e-07, -1.011415e-08, -1.561812e-06,
-7.602173e-11, -5.506582e-10, -1.030296e-09, 8.699760e-15, 1.672668e-17)
BAND11_SAT_Z_DEN_COEF = (-2.677739e-07, -3.261723e-07, -2.739256e-06, 5.022790e-07, 1.178965e-10,
7.730325e-10, 1.339841e-09, 1.037772e-13, 1.275989e-14)
BAND11_MEAN_SUN_VECTOR = ( 0.353481470, -0.313275201, 0.881288876)
BAND11_SUN_X_NUM_COEF = ( 3.603165e-05, -1.511062e-07, -5.326976e-06, -9.009762e-15, -9.164970e-07,
9.646961e-13, 1.903387e-11, -7.452245e-12, -1.690228e-16, 1.822502e-16)
BAND11_SUN_X_DEN_COEF = ( 1.494696e-07, 0.000000e+00, -1.097237e-11, -4.292416e-07, -2.53586e-11,
1.254335e-11, 1.407951e-11, 4.027807e-15, -4.600733e-16)
BAND11_SUN_Y_NUM_COEF = (-7.542763e-05, 4.115674e-06, -1.459225e-06, 1.177191e-14, -2.315045e-07,
4.625251e-11, -1.119341e-11, 2.135832e-11, -1.758476e-15, 3.065018e-17)
BAND11_SUN_Y_DEN_COEF = ( 1.018584e-05, -2.824459e-06, -1.221575e-11, 4.271477e-07, -4.020000e-12,
-1.150792e-11, 0.000000e+00, 1.364710e-14, -2.759219e-16)
BAND11_SUN_Z_NUM_COEF = ( 9.452430e-05, 1.524303e-06, 1.618392e-06, 3.482700e-13, 2.843200e-07,
-9.888907e-12, 1.495925e-11, 6.789788e-12, 4.879361e-15, 5.666448e-16)
BAND11_SUN_Z_DEN_COEF = ( 0.000000e+00, 1.000373e-05, -5.849416e-10, -5.311855e-07, -9.033708e-12,
-4.791139e-12, 6.941185e-11, -8.085416e-14, -5.141847e-14)
```

Imagen 55. Información parcial contenida en el Anexo 1

Correcciones aplicadas para la corrección de las imágenes

Como se ha mencionado en los capítulos bibliográficos, es necesario realizar una serie de correcciones en las imágenes obtenidas directamente de Landsat-8 para poder obtener así resultados representativos. Se ha valorado realizar dos correcciones principalmente, una corrección topográfica (opción descartada por la justificación realizada anteriormente en referencia a las características topográficas de la ciudad de Valencia) y una corrección atmosférica que por el contrario, sí se ha llevado a cabo:

- a) Corrección atmosférica: esta corrección sí se ha aplicado, ya que sí se considera determinante, pues como se ha explicado en el capítulo 2.3.4, en la atmósfera se encuentran partículas en suspensión que absorben parte de la energía reflejada y que no llega al satélite, por lo que los datos recogidos directamente del satélite no reflejan exactamente la energía emitida por los cuerpos de la superficie terrestre, sino la mezcla de emisión generada por dichos cuerpos y por las partículas atmosféricas. Esta corrección sería más necesaria en casos de estudio de imágenes en diferentes días, sin embargo, se ha decidido aplicarla para obtener resultados más determinantes. Así pues, para realizar dicho ajuste se han obtenido los datos atmosféricos del día 31 de julio de 2020, fecha de las imágenes satelitales, mediante la plataforma web de la nasa "<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>" y utilizando datos proporcionados por otros satélites de estudios atmosféricos con sensores de más de 300 bandas. Entre estos datos (Imagen 56), podemos obtener información acerca de la presión atmosférica, temperatura y humedad relativa en función de la altitud. De esta forma, mediante la plataforma web, se realiza la corrección y posteriormente, con el programa Envi 4.5 se procesan las imágenes.

Atmospheric Correction Parameter Calculator

Date (yyyy-mm-dd):	2020-07-31
Input Lat/Long:	39.450/ -0.300
GMT Time:	10:30
L8 TIRS Band 10 Spectral Response Curve	
Mid-latitude summer standard atmosphere	
User input surface conditions	
Surface altitude (km):	-999.000
Surface pressure (mb):	-999.000
Surface temperature (C):	-999.000
Surface relative humidity (%):	-999.000
Band average atmospheric transmission: 0.72	
Effective bandpass upwelling radiance:	2.58 W/m ² /sr/um
Effective bandpass downwelling radiance:	4.10 W/m ² /sr/um

Imagen 56-A. Datos obtenidos sobre el estado de la atmósfera terrestre el día 31/07/2020 para realizar los ajustes necesarios en las imágenes termográficas. Plataforma web "<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>"

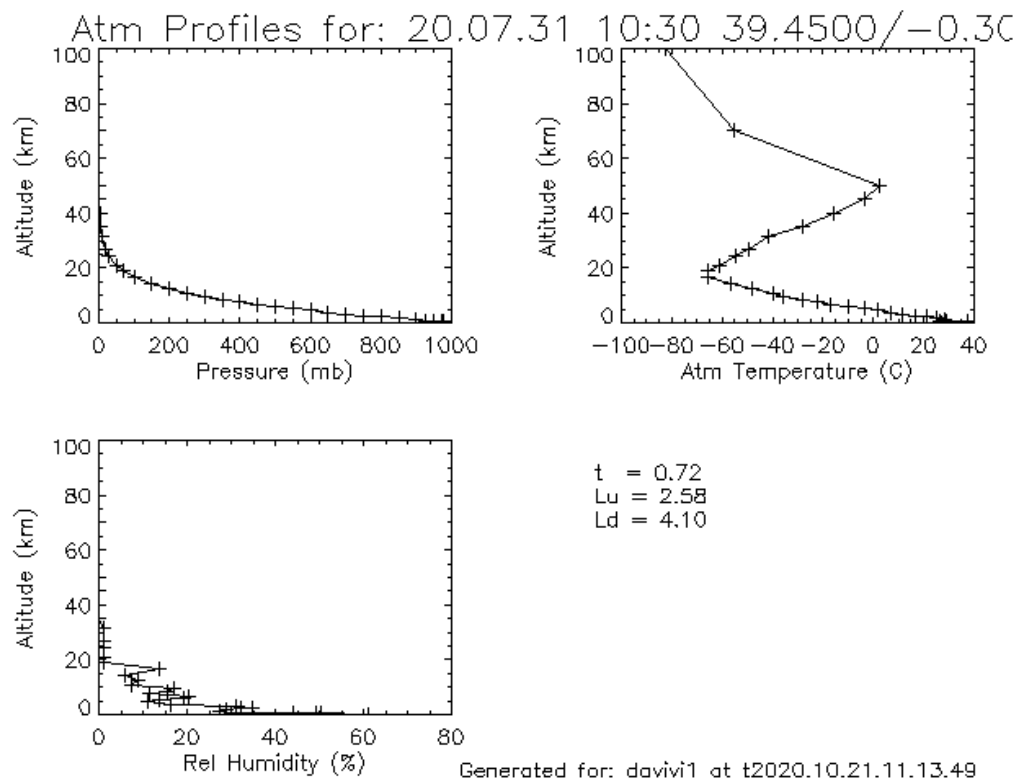


Imagen 56-B. Gráficas generadas por la plataforma web proporcionada por la NASA en referencia al estado de la atmósfera el día 31/07/2020 para la corrección atmosférica. <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

Resultados obtenidos en la Exp.2

Tras la descarga de las imágenes satelitales y la obtención del estado de la atmósfera dicho día, se ha procedido a la corrección de las imágenes térmicas y la combinación de las bandas 10 y 11 de Landsat con la banda 8 (pancromática), según el procedimiento detallado anteriormente y con el fin de obtener así los resultados buscados.

La zona de estudio (Imagen 57), como se ha mencionado en la descripción metodológica, abarca la zona norte de la ciudad de Valencia, donde se ubican las cubiertas 3 y 4.



Imagen 57.

Zona de actuación aproximada. Ubicación de las cubiertas 3 y 4 y localización de la zona centro de la ciudad y de la zona de huerta colindante en la ciudad de Valencia.

Elaboración propia a partir de imagen obtenida de Google Maps

Debido a las características de las imágenes Landsat y a la resolución de los píxeles (30m), no se puede hacer una aproximación exacta a las cubiertas estudiadas, ya que se trata de una localización muy focalizada para el rango de estudio del satélite. Además, analizando las imágenes obtenidas (Imagen 58), se observan los valores de emisividad de las superficies, de tal forma que no se aprecia una clara diferenciación entre la zona centro de la ciudad y la zona de huerta, esto puede ser causa de la propia morfología de ciudad de Valencia, ya que se trata de una ciudad poco amplia en su territorio y con zonas rurales muy cercanas en contacto muy directo con el centro urbano, lo que provocaría que la temperatura se acabe equilibrando en torno a un diámetro más amplio.

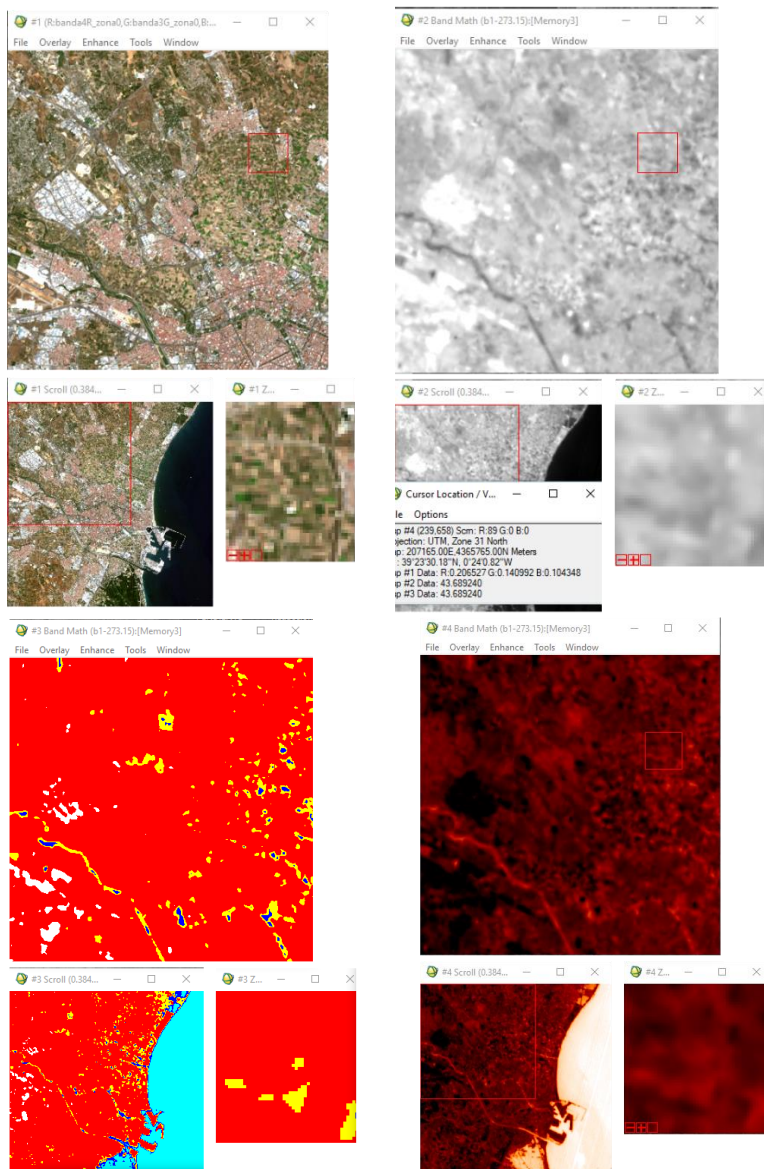


Imagen 58. Imágenes del proceso de análisis de resultados mediante la herramienta informática ENVI. 4.5. De izquierda a derecha: la primera imagen se corresponde a la composición RGB; la segunda, a la banda térmica. La tercera, a la segmentación por rango de temperaturas y por último, la cuarta es la paleta de temperaturas. Obsérvese en esta última la diferencia de temperaturas entre el Mar Mediterráneo y los polígonos industriales. Elaboración propia.

Sí se aprecia sin embargo, diferencia en las zonas húmedas del Mar Mediterráneo y el Río Turia (Imagen 59). Así pues, en la imagen, se observa la emisividad de las diferentes superficies, se puede ver como las tonalidades aumentan en función de los valores de albedo, teniendo un valor más bajo de albedo en los colores oscuros y un valor de albedo alto en los colores claros. Cabe destacar varios puntos importantes en el análisis de la imagen infrarroja:

- a) En la parte izquierda de la imagen (Punto 1), se puede apreciar como el tono es muy oscuro en torno al polígono industrial de la localidad de Paterna (Valencia), esto se debe a que los acabados de las superficies de las naves industriales suelen ser cubiertas de chapa metálica con unos acabados muy reflectantes y con una gran capacidad de absorción de calor, por lo que su valor de emisividad será elevado y esta zona aparece representada con un color rojo intenso, llegando a ser prácticamente negro.
- b) Por otro lado, otro punto interesante es el número 2. Al contrario de lo que ocurre con el polígono industrial, el Río Turia presenta un color rojo más suave, todavía alejado de los valores que se muestran en el Mar Mediterráneo, pero mucho más reducidos que en el punto anterior.
- c) Finalmente, el tercer punto analizado (Punto 3) se trata de la zona límite entre la huerta oeste de la ciudad y el centro urbano. Como se puede apreciar, no existe un claro contraste de temperatura en una zona amplia ya que la zona de huerta que aquí se presenta está rodeada de núcleos urbanos, lo que puede provocar un enmascaramiento por parte de la isla de calor generada por estas edificaciones.

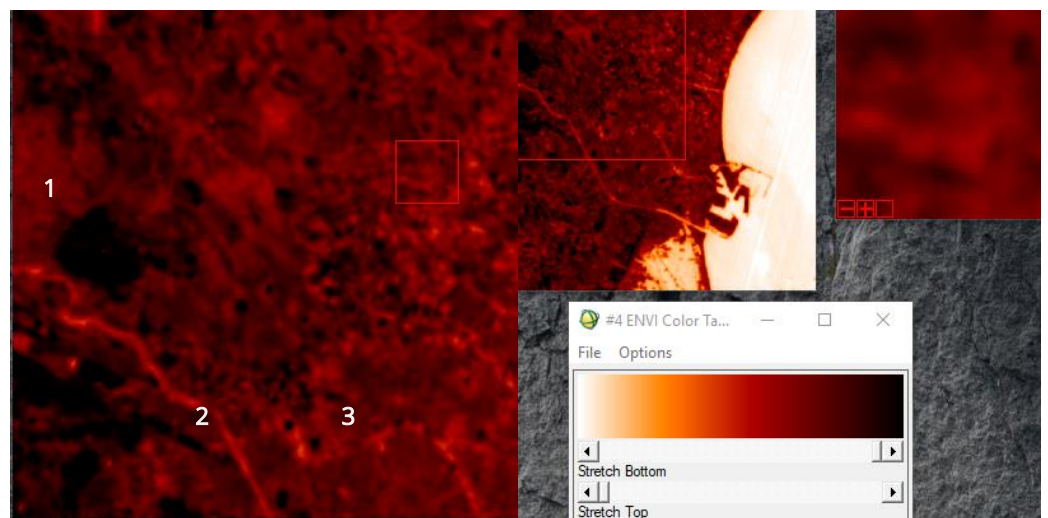


Imagen 59. Palea de temperaturas procesada con ENVI4.5. Puntos interesantes de estudio en la zona. Obsérvese la diferencia de temperaturas entre el mar y los polígonos industriales. Elaboración propia.

Perfiles de temperatura

Con el fin de complementar la investigación y de mejorar el estudio de la isla de calor en Valencia, se han realizado 3 perfiles de temperatura con el programa ENVI. 4.5 a partir de las imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8 anteriormente. De esta forma se puede visualizar gráficamente la variación de temperatura en el territorio de la ciudad de Valencia en la dirección del eje de análisis marcado en rojo. Se han obtenido así una serie de gráficas representativas de cada imagen analizada, con datos de temperatura medida en grados Celsius (°C) en el eje y, respecto a datos de distancia medidos en unidades arbitrarias (UA) representadas en el eje x.

- a) En primer lugar, se ha realizado un primer perfil, denominado **"Perfil 4"** (Imagen 60) con orientación Este-Oeste equivalente a una distancia de aproximadamente 20km desde el origen, cruzando el Río Turia desde el puerto de Valencia (zona Este de la ciudad) hasta el municipio de Torrente aproximadamente. Como se puede apreciar en la imagen termográfica, en el recorrido del eje se observan varios elementos a tener en cuenta para el análisis, como son: el paso del eje por zona urbana periférica de la ciudad de Valencia, el cruce por el actual cauce del Río Turia y la existencia de superficies con un alto nivel de reflectividad (color blanco) en la zona oeste del perfil analizado.

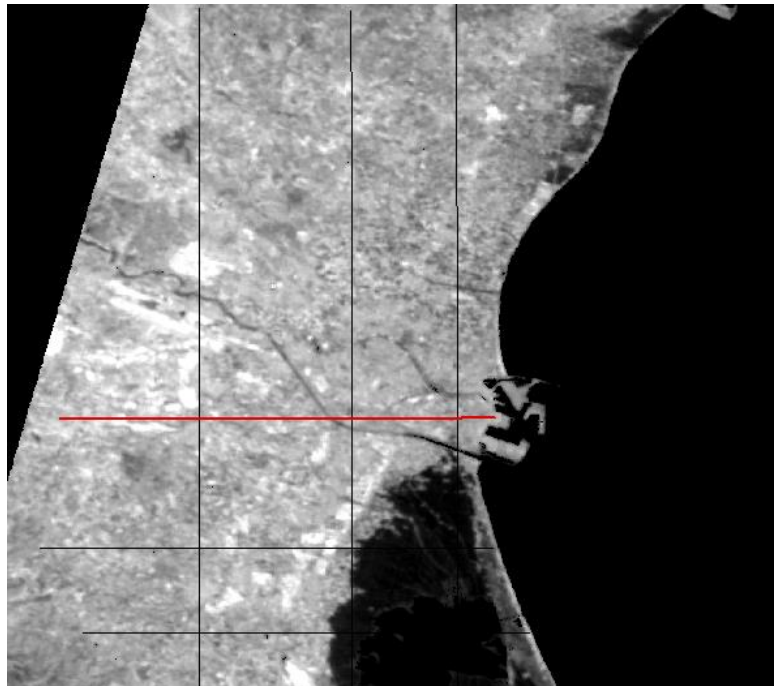


Imagen 60. Zona analizada térmicamente con perfil en orientación Este-Oeste (perfil 4) a partir de imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8. Elaboración propia.

Así pues, analizando la gráfica del **Perfil 4** (Imagen 61) se puede observar como en la zona este del eje, (zona del puerto cercana al Mar Mediterráneo), las temperaturas son más reducidas que al final del eje donde se ubica el polígono industrial lindante con los municipios de Torrente, Alacuás y Aldaya, variando desde los 45°C en la zona este hasta los 52 en el extremo oeste del eje. Esto se debe a que los acabados de las cubiertas del polígono industrial son superficies reflectantes (generalmente cubiertas de chapa metálica), produciendo así un aumento notable de la temperatura en esta zona. Se aprecia también como las temperaturas en la zona de huerta rondan los 40-45°C.

Por otro lado, como dato significativo del análisis de la gráfica se aprecia una caída de temperaturas en el punto 0.055 (UA) del eje x, donde la temperatura desciende notablemente, este punto se corresponde con el paso del eje por el río, registrando temperaturas cercanas a los 40°C.

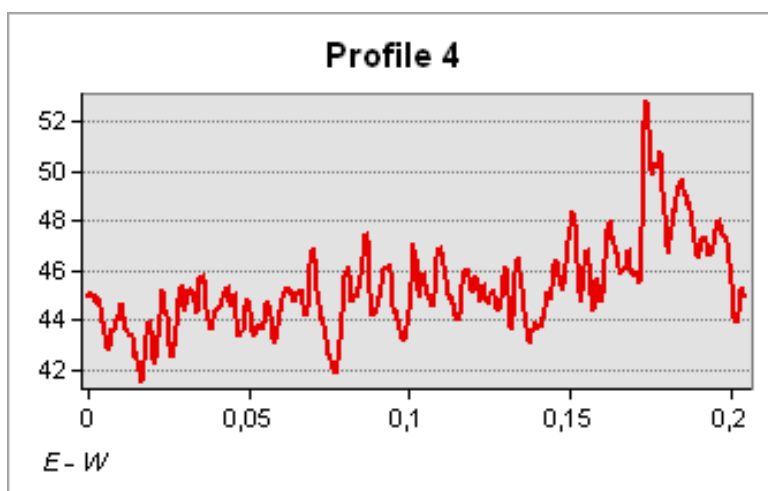


Imagen 61. Gráfica obtenida a partir del perfil de temperatura 4 de la imagen 60. Elaboración propia.

- b) Seguidamente, se ha estudiado un segundo perfil denominado "Perfil 5" (Imagen 62), con orientación Este-Oeste como en el caso "Perfil 4" y abarcando aproximadamente la misma distancia, pero trasladando el eje de corte a la zona sur de Valencia, concretamente a su paso por el Parque Natural de la Albufera, cruzando la zona de arrozales hasta el municipio de Albal, aproximadamente. Cabe destacar que en este caso no se llega a cruzar zona de agua directa, ya que en esta época del año los arrozales no están inundados (la inundación se produce en temporada invernal). Sin embargo, si existe una superficie con polígonos industriales como en el caso anterior, en torno a los municipios de Catarroja y Albal.

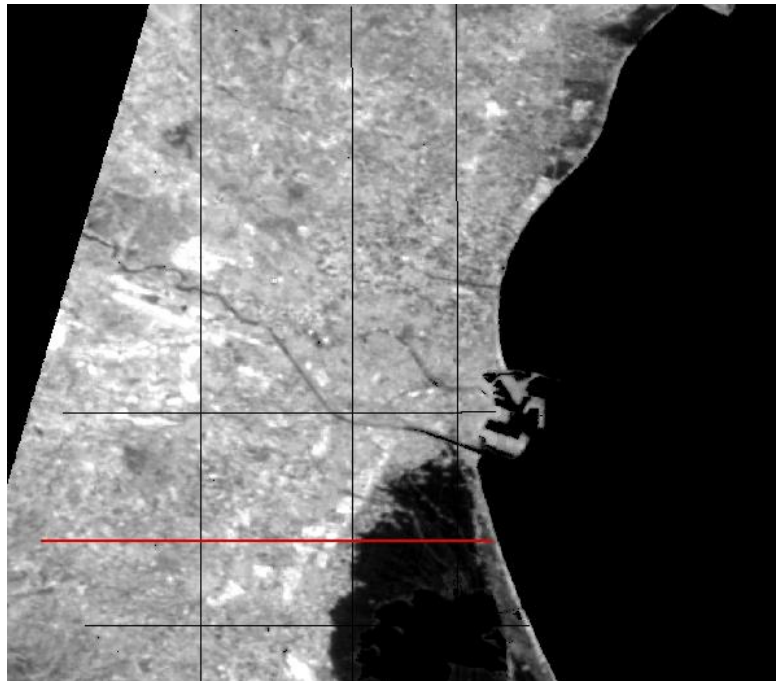


Imagen 62. Zona analizada térmicamente con perfil en orientación Este-Oeste (perfil 5) a partir de imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8. Elaboración propia.

Analizando los resultados obtenidos en la gráfica (Imagen 63), se aprecia notablemente la reducción de temperaturas en la distancia medida en la zona de arrozales del Parque de la Albufera, con un rango entre 30-35°C. Además, en la parte inicial de la gráfica (donde comienza el eje de análisis), se encuentra el municipio de Pinedo, con diversas construcciones de edificios de viviendas plurifamiliares con cubiertas tradicionales, se puede observar como aumenta la temperatura en torno a 10°C (hasta los 40°C) con respecto a los arrozales. Por otro lado, hay un salto brusco en el límite entre la zona de huerta y la zona de polígono industrial de los municipios colindantes a la Albufera, presentando diferencias de temperatura de casi 20°C en apenas 0.05 UA de distancia. Es decir, existe una notable diferencia de temperatura entre las zonas de huerta y las zonas urbanas.

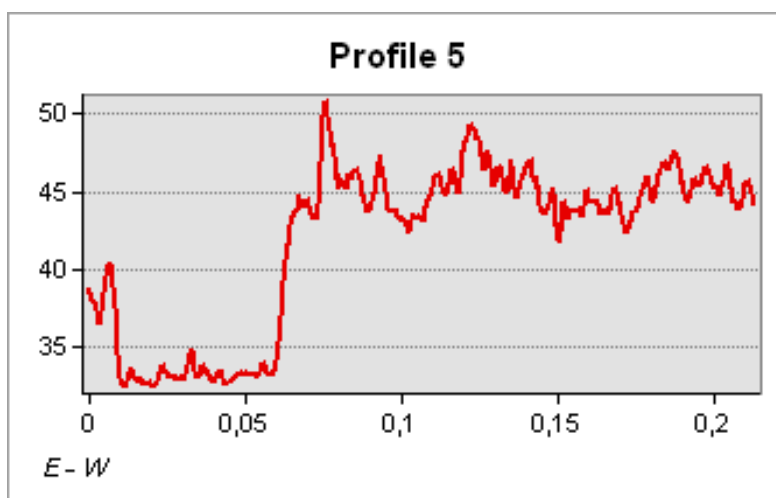


Imagen 63. Gráfica obtenida a partir del perfil de temperatura 5 de la imagen 62. Elaboración propia.

- c) Por último, se ha analizado un eje vertical con orientación Norte-Sur denominado “Perfil 3” (Imagen 64) con una distancia mayor de aproximadamente 30km. Este perfil abarca la zona norte de la ciudad desde el municipio de La Malla hasta la zona sur en torno al municipio de Picassent, aproximadamente. Este perfil abarca mucha más distancia respecto a los perfiles 4 y 5, atravesando diversas zonas de huerta, zona urbana y el Rio Turia.

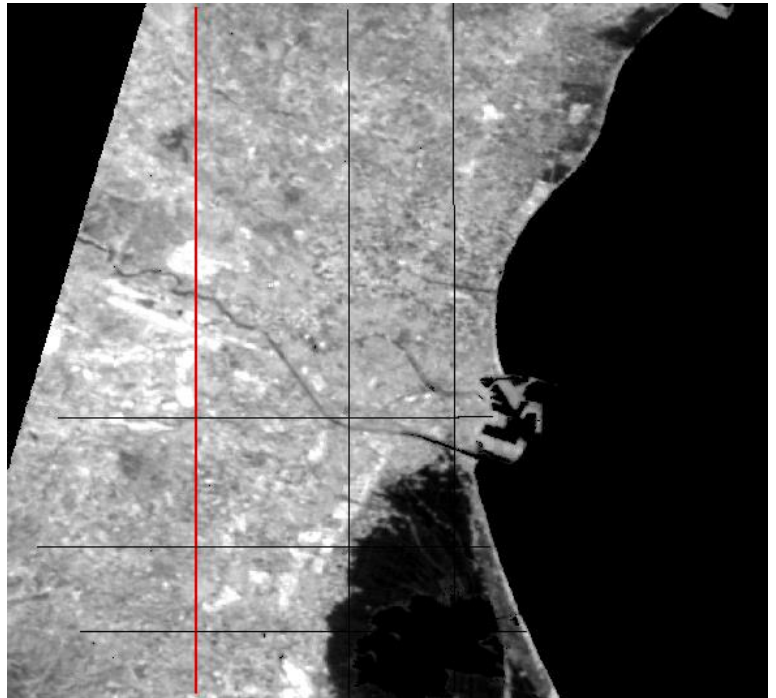


Imagen 64. Zona analizada térmicamente con perfil en orientación Este-Oeste (perfil 3) a partir de imágenes térmicas obtenidas de Landsat-8. Elaboración propia.

Como se puede observar, la gráfica del **Perfil 3** (Imagen X) es la que más escalones de temperatura refleja respecto a los dos perfiles analizados anteriormente (perfiles 4 y 5). A pesar de que el rango de distancia es más grande (0.1 UA más respecto a los perfiles 4 y 5), los saltos de temperatura también son más notables. Esto se debe a las características del perfil analizado que se han comentado anteriormente y a las diferencias existentes entre las superficies analizadas en el recorrido del eje. Así pues, las temperaturas más elevadas en torno a 55°C aparecen en la zona central de la gráfica, es decir, en los límites norte y sur del Rio Turia, donde además la temperatura desciende bruscamente hasta los 40°C, como ocurría en el Perfil 4. En las zonas de huerta (entre 0-0.5 UA y 0.22-0.32 UA) las temperaturas son más suaves con rangos entre 42-45°C. Se puede apreciar una vez más la notable diferencia de temperatura entre las zonas de huerta y las zonas urbanizadas.

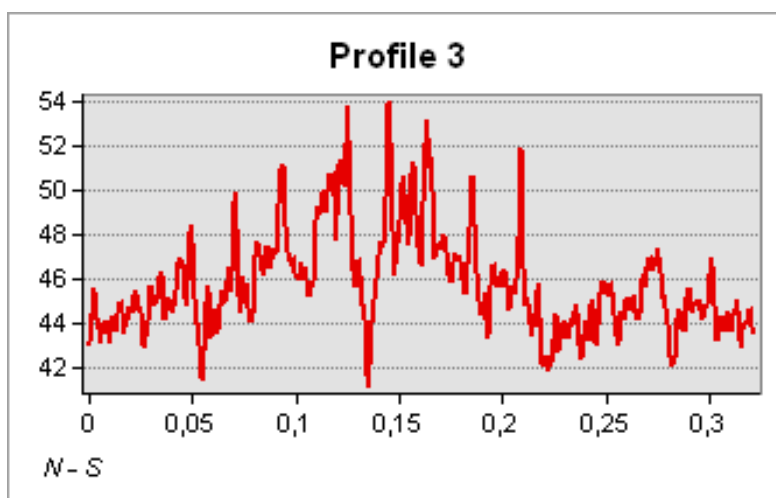


Imagen 65. Gráfica obtenida a partir del perfil de temperatura 3 de la imagen 64. Elaboración propia.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS DE LA EXP. 2

Tras la realización de la experiencia 2, se extraen una serie de conclusiones que finalmente se relacionarán con las conclusiones del estudio bibliográfico y de la Experiencia 1.

- a) Tras el análisis de las imágenes obtenidas y corregidas, en la zona norte de la ciudad de Valencia, se llega a la conclusión de que **las temperaturas emisivas de las superficies de huerta y zona urbana no presentan grandes contrastes en el análisis de imágenes satelitales en el entorno próximo al centro urbano.**
- b) **La temperatura se eleva en los polígonos industriales** debido al material de coberturas de los edificios existentes en esas zonas.
- c) **La temperatura se reduce en zonas húmedas** como el Río Turia, el Mar Mediterráneo o la Albufera de Valencia.
- d) Analizando los perfiles de temperatura realizados, se aprecia **una variación de temperaturas en función de la morfología del territorio y de las construcciones sitas en su superficie.** Dicha temperatura aumenta a mayor densidad de ocupación.
- e) La presencia de cubiertas vegetales de forma puntual en la ciudad (cubierta 3 de la experiencia 1), según la investigación realizada, no influye ni positiva ni negativamente en el efecto ICU actual de la zona analizada de la ciudad de Valencia. Según el estudio bibliográfico realizado, **se plantea la hipótesis de que una aportación de cubiertas ajardinadas acompañada de un aumento de las zonas verdes en la ciudad de Valencia conllevaría una mejora del efecto isla de calor.** No obstante, dado el análisis realizado de la zona de huerta próxima al entorno urbano, se concluye que **sería necesario una gran masa de cubiertas ajardinadas en la ciudad para mitigar el efecto isla de calor,** de tal forma que se compensara la reducción de las cubiertas tradicionales con la aportación de cubiertas vegetales y compensar dicho efecto. Se deja abierto el camino de investigación en este sentido.
- f) **El método de tratamiento de imágenes mencionado y explicado anteriormente, mejora la comprensión de las imágenes térmicas facilitando su representación y visualización.**

CONCLUSIONES

Tras la revisión bibliográfica y el trabajo de campo realizado en las Experiencias 1 y 2, se extraen las siguientes conclusiones:

- a) Se han caracterizado cuatro tipologías de cubierta en condiciones climáticas similares y se ha observado que **las cubiertas ajardinadas tienen una emisividad menor que las cubiertas tradicionales, presentando temperaturas más reducidas en las superficies estudiadas (tanto interiores como exteriores)** y proporcionando así, un mayor confort urbano en su entorno cercano y un mayor confort higrotérmico en el interior de la vivienda, respecto a las cubiertas tradicionales.
- b) Se ha analizado temperaturas superficiales de cubiertas tradicionales y ajardinadas en la zona acotada para el estudio de la isla de calor en la ciudad de Valencia, observando temperaturas similares en la ubicación de la cubierta 3 (grava) y la cubierta 4 (tradicional). Es decir, se ha observado que **la influencia puntual de las cubiertas ajardinadas aisladas no es determinante en el efecto isla de calor urbana en la zona analizada de la ciudad de Valencia**. No obstante, debido a la menor emisividad que presentan estas cubiertas respecto a las cubiertas tradicionales, se plantea que la sustitución a gran escala de esta tipología por cubiertas ajardinadas reduciría el efecto ICU en las grandes ciudades, concluyendo que: según la investigación realizada, **sería necesaria la aportación de una gran cantidad de cubiertas ajardinadas creando una gran zona verde elevada en la ciudad capaz de mitigar las emisiones del resto de superficies contaminantes y reducir así el efecto isla de calor.**

En el desarrollo de los objetivos parciales planteados, se concluye:

- a) Se ha utilizado la cámara termográfica Flir Vue Pro para el análisis térmico de superficies, observando su eficacia en el posterior tratamiento de imágenes para el análisis de las temperaturas mediante la herramienta informática FLIRTools y la generación de informes para el caso de estudio, **resultando un proceso sencillo para la comparación de las cubiertas entre sí y para la caracterización y representación de las temperaturas superficiales de las mismas.**
- b) Se ha obtenido la información necesaria a partir de imágenes térmicas de Landsat-8 para analizar las variaciones térmicas entre diferentes superficies de la zona acotada para el análisis y poder realizar un acercamiento al estudio del efecto isla de calor urbana en la ciudad de Valencia. De tal forma, que se ha observado que **las zonas donde se dan las temperaturas más elevadas son polígonos industriales y centros urbanos**, reduciéndose estas en las zonas húmedas como el Río Turia, el Mar Mediterráneo o la Albufera de Valencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Carreras, C., Marín, M., Vide, J.M., Moreno, M.C., Sabí, J. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 17, 51-77.
- Ochoa de la Torre, J.M. (1999). La vegetación como instrumento para el control microclimático. Tesis Doctoral.
- Voogt, J.A., Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384. Recuperado de: <http://www.elsevier.com/locate/rse>
- "Apuntes de teledetección". Licenciatura de Ciencias Ambientales y Licenciatura de Geografía. Universidad de Murcia. (2003-2004). Recuperado de: <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema03.pdf>
- Tornero, J., Pérez Cueva, A.J., Gómez Lopera, F. (2006). Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes. *Cuaderno de geografía*, 80, 147-182.
- Sobrino, J.A. et al. (2009). Estudio de la isla de calor en la Ciudad de Madrid. *Revista de Teledetección*, 31, 80-92. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265894609_DESIREX_2008_estudio_de_la_isla_de_calor_en_la_ciudad_de_Madrid
- Acero Alejandro, J.A., Simón Moral, A., Arrizabalaga Ibarzal, J., (2010). Influencia de la vegetación en la calidad del aire y del clima urbano. *Conama10, Congreso Nacional del Medio Ambiente*. Comunicación técnica.
- Lozano Esteban, S.D. (2010). Análisis de la ciudad de Valencia. Análisis de la situación actual de la ciudad para la elaboración del Proyecto del Parque Central de Valencia. *Máster en Jardinería y Paisaje de la Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado de: <http://sutterlozano.com/files/analisis-de-la-ciudad-de-valencia.pdf>
- Lafarge. (2013). Country Headline on Two Lines. [Figura]. Recuperado: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/69368/1/La_cubierta_verde_como_mejora_del_comportamiento_energetico_INIGO_CRUZ_ALBA.pdf
- Earth Observing System (2013). *Landsat 8*. Recuperado: <https://eos.com/es/landsat-8/>
- Alarcón Ruiz, A. (2014). Arquitectura bioclimática, los cimientos de la sostenibilidad. *Bachillerato de investigación en modalidad de Ciencia y Tecnología en Instituto de Educación Secundaria Infanta Elena de Jumilla, Murcia*.

- The European Space Agency (17 de junio de 2015). *Sentinel 2*. Recuperado de: [https://www.esa.int/Space in Member States/Spain/SENTINEL 2](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2)
- Poursanidis, D., Chrysoulakis, N., Mitraka Z. (2015). Landsat 8 vs. Landsat 5: A comparison base don urban and peri-urban land cover mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 259-269. doi: 10.1016/j.jag.2014.09.010
- Moreno, M. C. y Serra, J.A. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 21(1.179), 1-32. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/312981419> El estudio de la isla de calor urbana en el a mbito mediterraneo una revision bibliografica
- Rosatto, H., Fernando, G., Tolón, A., Tardito, H. y Leveratto, M. (2016). Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires – aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 48(1), 197-209. Recuperado de: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8462/cp14-rosatto.pdf
- Parastatidis, D., Mitraka, Z., Chrysoulakis, N. y Abrams, M. (2017). Online Global Land Surface Temperature Estimation from Landsat. *MDPI*, 9(1208), 1-16. doi: 10.3390/rs9121208
- U. S. Geological Survey (18 de julio de 2017). *Landsat 8*. Recuperado de: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Gis & Beers (18 de febrero de 2018). *Pansharpening: mejorando la resolución de imágenes satélite*. Recuperado de: <http://www.gisandbeers.com/pansharpening-mejorando-la-resolucion-de-imagenes-satelite/>
- National Public Radio [NPR]. (2018). Why It Usually Hotter In A City. [Archivo de vídeo]. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=Y-bVwPRy_no&feature=youtu.be
- Alonso, D. (2019). *Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel*. Recuperado: <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
- Skopje Lab. (2018). Diagrama del efecto de la Isla de Calor Urbana (ICU). [Figura]. Recuperado de: <https://storymaps.arcgis.com/stories/5301089fe041469c9820b56d92148232>
- Stanley Eales. Environment friendly. [Figura]. Recuperado de: <https://www.staneales.com/colour-vertical-format/>
- Stanley Eales. Country scene on buildings. [Figura]. Recuperado de <https://www.staneales.com/colour-vertical-format/>

