

05-019

### **RADIANT SOLUTION FOR THE THERMAL CONDITIONING OF SHORT STAY SPACES**

Montero Gutiérrez, María de la Paz <sup>(1)</sup>; Cerezo Narváez, Alberto <sup>(2)</sup>; Otero Mateo, Manuel <sup>(2)</sup>;  
Pastor Fernández, Andrés <sup>(2)</sup>; Álvarez Domínguez, Servando <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Sevilla, <sup>(2)</sup> Universidad de Cádiz

Urban space is a hostile place for people in large cities in southern Europe. Moreover, the use of public transport is reduced during the summer season because of the heat island. These circumstances mean that citizens do not use urban areas for leisure. For this reason, the creation of climatic shelters is essential to improve the thermal comfort of urban occupants. This study proposes the design of an energetically self-sufficient bus stop, to be installed in the city of Seville, to protect its users from the climate. Its energy independence can be achieved through the integration of Falling-Film technology and the addition of radiant cooling modules. Based on the prototyping of a bus shelter, its behaviour is evaluated in a climatic chamber, fully sensorized, with the purpose of studying the efficiency of the systems included. In this way, the results obtained in the experiment focus on the analysis of convective and radiant heat flows under different operating conditions, ensuring that 60% of the total heat flow is due to radiation. Furthermore, thermographic images prove the correct operation of the facility, which reaches comfort conditions in 20 minutes.

*Keywords:* public transport infrastructure; short stay space; urban shelter; urban heat island; thermal comfort

### **SOLUCIÓN RADIANTE PARA EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE ESTANCIAS DE CORTA DURACIÓN**

El espacio urbano es un lugar hostil para los ciudadanos de grandes urbes del sur de Europa. Asimismo, el uso de transporte público se ve reducido en temporada estival por efectos de la isla de calor. Estas circunstancias propician que los peatones no usen las áreas urbanas para ocio. Por este motivo, la creación de refugios climáticos es fundamental para mejorar el confort térmico de sus ocupantes. Este estudio propone el diseño de una parada de autobuses autosuficiente, a instalar en la ciudad de Sevilla, que proteja a sus habitantes del clima. Su autosuficiencia es posible mediante la integración de la tecnología Falling-Film e incorporación de módulos radiantes de refrigeración. A partir del prototipado de una marquesina, se evalúa su comportamiento en el seno de una cámara climática, totalmente sensorizada, con el propósito de estudiar la eficiencia de los sistemas. De esta forma, los resultados obtenidos en el experimento se centran en el análisis de flujos de calor convectivo y radiante en diferentes condiciones de funcionamiento, garantizando que el 60% del flujo de calor total se debe a la radiación. Igualmente, imágenes termográficas demuestran el correcto funcionamiento de la estancia, que alcanza condiciones de confort en 20 minutos.

*Palabras clave:* infraestructura de transporte público; estancia de corta duración; refugio urbano; isla de calor urbana; confort térmico

*Agradecimientos:* Este estudio ha sido financiado por los proyectos "CONSTANCY - Metodologías de urbanización resiliente y acondicionamiento natural utilizando soluciones imaginativas basadas en la naturaleza y el patrimonio cultural para recuperar la vida en la calle".



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La sociedad ha vivido una situación excepcional con el virus SARS-COV-2, pasando la mayor parte de los años 2020 y 2021 en espacios cerrados (Greenhalgh et al., 2021). La permanencia prolongada en dichos espacios puede convertirse en un riesgo potencial para la salud si la calidad del aire no es adecuada (Mohammadyan et al., 2017). Por ello, los científicos recomiendan aprovechar los espacios al aire libre para mitigar estos riesgos (World Health Organization, 2020). Además, en numerosas ocasiones, los edificios de estas zonas no suelen ofrecer un entorno térmicamente confortable, lo que también lleva a los residentes a buscar alivio en espacios urbanos al aire libre. No obstante, los fenómenos de calor extremo son cada vez más frecuentes. Los efectos del cambio climático se suman a los efectos de isla de calor urbana (Marando et al., 2022). Por ello, las temperaturas en las ciudades son más altas que en las zonas rurales, debido a modelos urbanos insostenibles y poco resilientes (Cheung & Jim, 2018).

Para resolver este problema, se necesitan refugios climáticos que puedan ofrecer condiciones confortables a las personas que buscan un alivio temporal del duro entorno urbano. Estos refugios podrían adaptarse a estancias más o menos largas y estar situados en lugares estratégicos que incorporen principios de diseño sostenibles y energéticamente eficientes. Una prometedora vía de exploración consiste en aprovechar las infraestructuras urbanas existentes, como paradas de autobús, estaciones de tranvía y metro, como refugios climáticos de corta duración. Mediante la incorporación de elementos como sistemas de calefacción o refrigeración radiantes, dispositivos de sombreado y ventilación natural, alimentados por fuentes de energía renovables, estos refugios podrían aportar una solución sostenible y baja en carbono al problema de la incomodidad térmica en los espacios urbanos, ofreciendo un respiro del agobiante calor estival y, al mismo tiempo, fomentando el uso del transporte público.

Las administraciones públicas que gestionan algunas de las grandes ciudades en climas cálidos están creando refugios climáticos para ayudar a mitigar los efectos del cambio climático en las ciudades, ofreciendo condiciones confortables a las personas que buscan un alivio temporal del duro entorno urbano. La atención se encuentra localizada sobre las marquesinas (paradas) de autobús, ya que su uso se ve reducido en época estival debido a las altas temperaturas urbanas. Además, el tiempo de ocio al mediodía en estas grandes ciudades se ve afectado. Por ello, los refugios climáticos se convierten en una solución pionera para ayudar a los ciudadanos a hacer frente a estas duras condiciones climáticas en entornos urbanos. Estos espacios suelen ser calles, parques, jardines o lugares sombreados que han sido renovados y están abiertos al público de forma gratuita (United Nations Climate Change (UNCC), s. f.). El objetivo de estos refugios es proporcionar confort térmico, seguridad, confort acústico y protección contra el viento (Ayuntamiento de Cataluña, 2022; Ayuntamiento de Sevilla, 2022a, 2022b). Por esta razón, las marquesinas de autobús son consideradas actualmente refugios climáticos.

Para comprobar la viabilidad de los refugios climáticos se pueden realizar experimentos en cámaras climáticas diseñadas para reproducir las condiciones del mundo real, así como emplearse programas avanzados de simulación para modelizar la compleja interacción de los factores que influyen en los efectos microclimáticos urbanos (edificios, vegetación, pavimentos y otros elementos). No obstante, la bibliografía actual se centra en el estudio de modificación de las geometrías de las marquesinas y de sus instalaciones para conseguir confort térmico sobre los ocupantes (Dzyuban, Hondula, et al., 2022; Z. Mokhtari et al., 2022; Yücel Caymaz, 2018). Además, también existen diversos estudios que explican cómo se llevan a cabo, mediante el uso de energías renovables para hacerlas más sostenibles y autosuficientes (Iqbal, 2019; Z. Mokhtari et al., 2022; Yücel Caymaz, 2018).

La Tabla 1 recopila algunas de estas propuestas encontradas en la literatura. Cabe destacar que no se detallan en profundidad los procesos experimentales y de validación de los resultados obtenidos ni se analizan los parámetros climáticos principales que afectan al proceso de experimentación. Es por ello, que en este trabajo se experimenta un prototipo de marquesina que promueve sombra de calidad y enfriamiento de superficies, mostrando las condiciones óptimas del funcionamiento de las tecnologías propuestas.

**Tabla 1: Revisión bibliográfica sobre marquesinas de autobús autosuficientes**

Referencia	Año	Localización	Objetivos
(Goshayeshi et al., 2013)	2013	Selangor (Malasia)	Estudio de condiciones de confort en marquesinas de autobús con materiales alternativos.
(Mutani et al., 2017)	2017	Turín (Italia)	Transformación de marquesinas de autobús en sistemas inteligentes.
(Yücel Caymaz, 2018)	2018	Estambul (Turquía)	Diseño de marquesinas de autobús para su armonización con el espacio y adecuación para temporadas de verano.
(Alikhanova et al., 2019)	2019	Nursultán (Kazajistán)	Modernización de marquesinas de autobús utilizando una combinación óptima de fuentes de energías limpias y convencionales.
(Iqbal, 2019)	2019	Podkoren (Eslovenia)	Análisis del confort térmico en marquesinas de autobús.
(Dzyuban, Ching, et al., 2022)	2022	Singapur (Singapur)	Análisis en marquesinas de autobús de la relación entre el estado térmico de las personas y las construcciones del entorno.
(R. Mokhtari et al., 2022)	2022	Karaj (Irán)	Propuestas de refugios climático en marquesinas de autobús para mejorar el confort en ciudades con clima árido y caluroso.
(Dzyuban, Hondula, et al., 2022)	2022	Phoenix (EE.UU.)	Mejora del tránsito de personas mediante el uso de infraestructuras (marquesinas de autobús) que aporten condiciones de confort.

## 2. Objetivos

En las ciudades de clima cálido, los desafíos del cambio climático y los efectos de la isla de calor urbano se han vuelto preocupaciones cada vez más apremiantes. Los edificios en estas áreas a menudo no proporcionan ambientes térmicamente cómodos, lo que lleva a los residentes a buscar alivio en espacios urbanos al aire libre. La era pospandémica ha exacerbado aún más este problema, ya que las personas, ahora cautelosas con los espacios cerrados, se sienten atraídas por áreas abiertas en busca de refugio de las temperaturas extremas. Sin embargo, las calles, parques y jardines a menudo ofrecen poco respiro del intenso calor, dejando a las personas enfrentarse a una incomodidad térmica significativa. En las ciudades que priorizan el transporte público, hay numerosas paradas de autobús, estaciones de tranvía e incluso de metro que pueden actuar como refugios climáticos que ofrezcan comodidad para las personas respecto de los duros entornos urbanos. Este trabajo tiene como objetivo investigar si las paradas de autobús pueden funcionar como refugios climáticos a corto plazo, particularmente durante los meses de verano.

Para abordar este problema, los investigadores han propuesto la creación de refugios climáticos diseñados estratégicamente para incorporar principios de diseño sostenible y eficiente en términos de energía, que proporcionen condiciones cómodas para las personas que buscan alivio temporal del duro entorno urbano. Al incorporar elementos como sistemas de calefacción o refrigeración radiante, dispositivos de sombreado y ventilación natural, estos refugios podrían ofrecer un respiro del calor opresivo del verano y, al mismo tiempo, promover el uso del transporte público. Para probar esta hipótesis, se lleva a cabo un experimento en una cámara climática, que debe replicar las condiciones del mundo real que experimentarán los usuarios. Para ello, se emplea un software avanzado de simulación de microclima para modelar los efectos microclimáticos urbanos generados por edificios, vegetación, pavimentos y otros elementos que constituyen el diseño, planificación y desarrollo inmobiliario urbano. Además, este estudio explora los posibles beneficios de integrar fuentes de energía renovable y estrategias de enfriamiento pasivo, como sombreado, ventilación natural e infraestructura verde, fomentando la adopción de soluciones innovadoras para mejorar las condiciones de vida urbana y promover el bienestar de los habitantes de la ciudad.

La integración de infraestructuras verdes, como techos verdes, paredes verdes y bosques urbanos, puede contribuir a reducir el efecto de isla de calor urbano y mejorar la calidad general del aire. Del mismo modo, el uso de superficies y materiales reflectantes puede ayudar a disminuir la absorción de la radiación solar, aliviando aún más la incomodidad térmica en los espacios urbanos. Además, no se debe pasar por alto el papel de las fuentes de energía renovable en el suministro de energía a los refugios climáticos. Los paneles solares, por ejemplo, pueden generar electricidad para alimentar sistemas de calefacción o refrigeración radiante, ofreciendo una solución sostenible y baja en carbono al problema de la incomodidad térmica en los espacios urbanos. Al examinar el potencial de estas diversas estrategias y tecnologías, los investigadores pueden aportar valiosas ideas para el desarrollo de ciudades resilientes y sostenibles capaces de adaptarse a los desafíos del cambio climático y los efectos de la isla de calor urbano. Además, este enfoque puede promover mejores condiciones de vida urbana y bienestar para los habitantes de la ciudad, fomentando un paisaje urbano más sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental para las generaciones futuras.

### **3. Metodología**

La metodología empleada en este estudio se basa en la combinación de diseño, construcción y análisis en condiciones controladas de un prototipo de marquesina autosuficiente, con el propósito de identificar las soluciones óptimas que permitan adaptar las marquesinas existentes en la ciudad de Sevilla, logrando infraestructuras energéticamente autosuficientes que ofrezcan un adecuado confort térmico. El proceso se divide en tres etapas principales. En primer lugar, se presenta el diseño de un nuevo concepto de marquesina climatizada para el transporte urbano en la ciudad de Sevilla, que adapta la geometría y dimensiones de las marquesinas existentes e incorpora una serie de tecnologías para lograr una infraestructura energéticamente autosuficiente. En segundo lugar, se presenta un prototipo funcional y se analiza la configuración experimental llevada a cabo en la cámara climática de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, describiendo los componentes y sistemas utilizados para simular las condiciones ambientales típicas del verano sevillano y testar el rendimiento del prototipo en diversas situaciones. En tercer lugar, se detallan los sistemas de monitoreo y control empleados para recopilar datos sobre el rendimiento del prototipo de marquesina en la cámara climática, abordando la monitorización de la temperatura del aire, paredes, suelo radiante y de los módulos radiantes, así como la temperatura del agua a la entrada y salida de la marquesina, describiendo los equipos y software utilizados para el procesamiento y análisis de los datos recogidos durante el experimento.

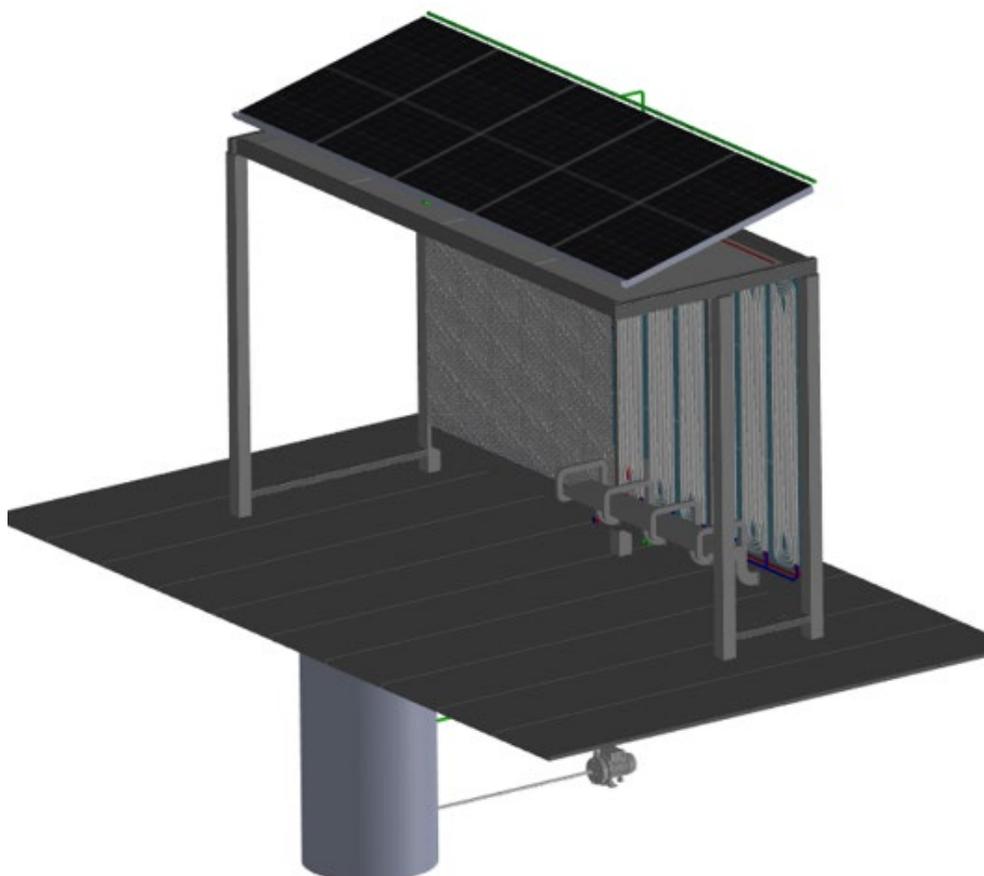
### 3.1. Marquesina autosuficiente y prototipo

En primer lugar se diseña un nuevo concepto de parada de autobús climatizada utilizando técnicas naturales para el transporte urbano en la ciudad de Sevilla. Este diseño consta de la geometría y dimensiones de las marquesinas existentes en la ciudad con el fin de reutilizar las ya existentes. El agua es el fluido principal utilizado para refrigerar y conseguir niveles de confort en el interior de la zona semiabierta. El objetivo principal del concepto es crear una infraestructura energéticamente autosuficiente que pueda ser instalada en las calles de Sevilla. Para ello, se hace uso de circuitos de tecnología radiante por superficie para reducir la temperatura de la zona estudiada.

Durante el día, diversos colectores solares captan energía para el funcionamiento de los módulos de refrigeración radiante. Por la noche, se pone en funcionamiento una bomba hidráulica que circula el agua hacia la tecnología Falling-Film, realizándose un enfriamiento evaporativo mediante intercambio radiante con el cielo (Guerrero Delgado, Sánchez Ramos, & Álvarez Domínguez, 2020; Guerrero Delgado, Sánchez Ramos, Pavón Moreno, et al., 2020). Esta energía refrigerativa se almacena en un tanque subterráneo perfectamente aislado.

Para analizar la eficacia de la tecnología radiante mediante superficie, se prototipa y construye una marquesina. Esta se instala en el interior de una cámara climática sensorizada de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. En la Figura 1 se muestra la idea desarrollada. En él se puede apreciar las tecnologías radiantes descritas y el sistema de almacenamiento. Los módulos radiantes están protegidos por un aislamiento de lana de roca en la parte trasera, garantizando que todo el flujo de calor se transfiera a la zona de estudio. En la parte delantera, los módulos están protegidos por una chapa metálica perforada.

Figura 1: Prototipo de marquesina



### 3.2 Tecnologías instaladas en la cámara climática

El prototipo se compone de un total de 24 módulos radiantes, divididos equitativamente entre el frontal y el techo de la marquesina. Cada módulo de refrigeración se encuentra conectado en serie, formando un total de 4 circuitos de 3 módulos. Cada uno de estos módulos está formado por tubos de polietileno resistente de alta temperatura (PE-RT), conformados en forma de madeja para ofrecer una mayor área de transmisión térmica-radiante. Los circuitos se encuentran alternos con el fin de equilibrar la distancia recorrida por el fluido refrigerante.

La tecnología Falling-Film es sustituida por una enfriadora, capaz de mantener las mismas prestaciones. Esta tecnología permite realizar diferentes experimentos con tan solo el cambio de la temperatura de consigna del agua. El aire del interior de la cámara climática es automatizado y controlado con el fin de simular las temperaturas exteriores del período estival en la ciudad de Sevilla. La presencia de un suelo radiante y un fancoil industrial permiten alcanzar altas temperaturas en la estancia. Gracias al suelo radiante se simulan las altas temperaturas causadas por la radiación térmica emitida por el pavimento urbano en un día de verano.

La automatización y control del suelo radiante se realiza mediante diversos módulos de National Instruments. Para ello, se extraen datos de la estación climática de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Concretamente se hace uso de la temperatura ambiental y de la radiación solar para establecer los experimentos. Los módulos de National Instruments interpretan valores de temperatura cada 10 minutos. De esta forma se establece la temperatura de consigna del agua del suelo radiante, creando una gráfica de pulsos mediante los datos extraídos de la estación climática.

La Figura 2 muestra las diferentes tecnologías instaladas dentro de la cámara climática para asegurar la correcta experimentación del prototipo. En primer lugar, se muestra la chapa perforada y el aislamiento (Figura 2a). A continuación, se muestra la bomba de agua que impulsa el agua refrigerada a los módulos radiantes de la parada y del suelo radiante (Figura 2b). Por último, se muestra la enfriadora, que permite establecer las temperaturas de consigna del agua del interior de los módulos de la marquesina, así como el tanque de 500 litros para almacenar el agua de refrigeración (Figura 2c).

**Figura 2: Tecnologías instaladas en la cámara climática para realizar los experimentos**



(a)



(b)



(c)

Los experimentos realizados están influenciados por el caudal y la temperatura de consigna del agua suministrada a la marquesina, y por la temperatura de consigna del agua del suelo radiante y del fancoil industrial. Los dos primeros parámetros influirán de forma directa en los flujos de calor convectivos y radiantes emitidos por los módulos de refrigeración. Mientras tanto, la temperatura del aire del interior de la cámara se ve influenciado por la temperatura de consigna del suelo radiante y del fancoil.

Tal y como se muestra en la Tabla 2, se realizan tres tipos de experimentos en función del caudal suministrado a los módulos: bajo (125 L/h), medio (442 L/h) y alto (742 L/h). Estos caudales varían en función de las revoluciones de la bomba hidráulica. El máximo caudal está definido por el ruido, mientras que el mínimo está definido por deposición de caudal. La temperatura de consigna de la enfriadora varía entre 18, 20 y 22°C.

**Tabla 2: Experimentación según temperatura de consigna (enfriadora) y revoluciones (bomba hidráulica)**

		Caudal		
		Bajo (700 rev/min)	Medio (1700 rev/min)	Alto (2700 rev/min)
Temperatura	Baja	125 L/h – 18°C	442L/h – 18°C	742L/h-18°C
	Media	125L/h – 20°C	442L/h – 20°C	742L/h-20°C
	Alta	125L/h – 22°C	442L/h – 22°C	742L/h-22°C

La temperatura de consigna del suelo radiante y del fancoil se ve influenciada por los parámetros de temperatura y radiación extraídas de la estación climática. Se diferencian tres días:

- Días con temperatura y radiación solar alta: Se caracterizan por ser días despejados donde la temperatura alcanzada supera los 40°C y la radiación es superior a 800 W/m<sup>2</sup>.
- Días con temperatura y radiación solar media: Se caracterizan por ser días parcialmente despejados donde la temperatura se encuentra entre los 35°C y 30°C. Mientras tanto la radiación se encuentra entre los 800 W/m<sup>2</sup> y 500 W/m<sup>2</sup>.
- Días con temperatura y radiación solar baja: Se caracterizan por ser días mayormente nublados donde la temperatura es inferior a 30°C y la radiación es inferior a 500 W/m<sup>2</sup>.

### 3.3 Sensorización de la cámara climática

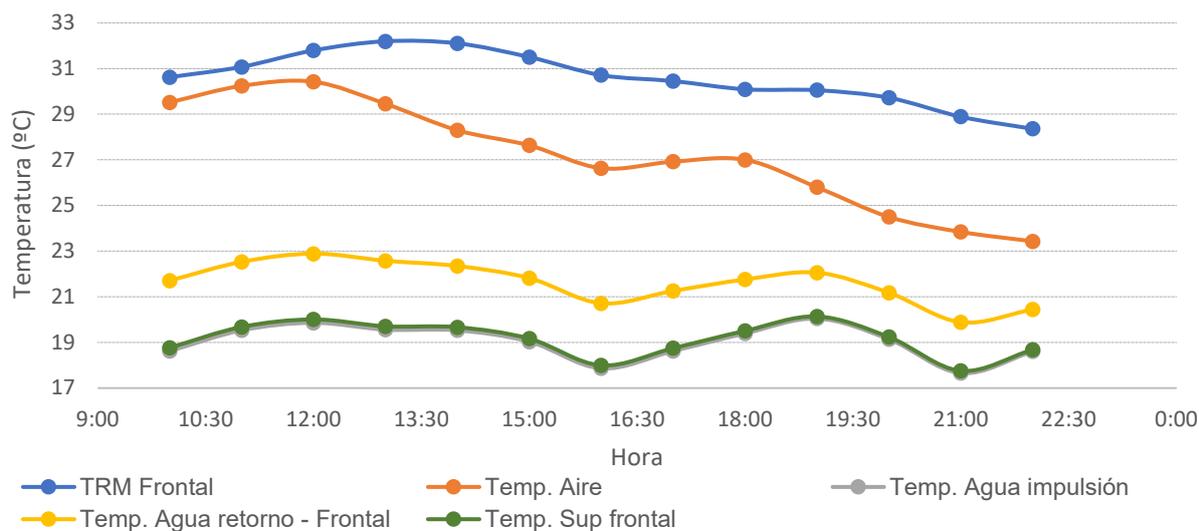
La cámara climática se encuentra completamente sensorizada para analizar la respuesta de la marquesina ante los estímulos climáticos. Se monitoriza la temperatura del aire tanto en el interior como exterior de la marquesina mediante sensores PT100. La temperatura de las paredes de la cámara climática y el suelo radiante se monitorizan mediante termopares. Los módulos radiantes por superficie se encuentran monitorizados hasta en 8 puntos diferentes tanto en el frontal como en el techo de igual forma a las paredes y el suelo. Asimismo, se monitoriza la temperatura del agua tanto a la entrada y salida a la marquesina mediante termopozos de precisión.

Dos módulos de National Instruments (NI TB-9214 y NI Cdaq-9174) son utilizados para convertir las diferencias en las lecturas de potencia de los termopares en temperatura, mientras que el funcionamiento del sistema experimental se controló con el software de ingeniería Labview.

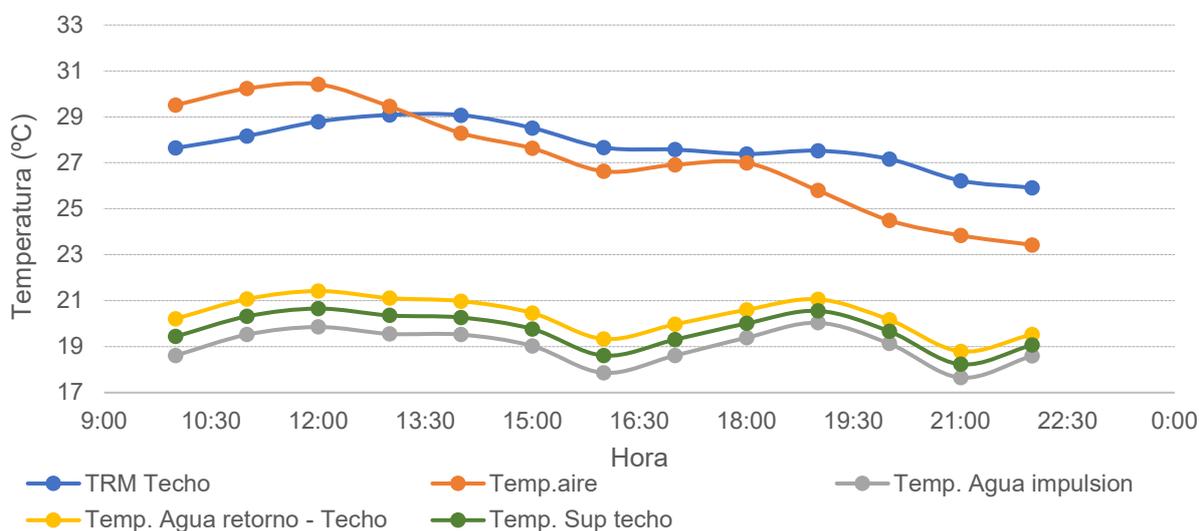
#### 4. Resultados y discusión

Los resultados que se han obtenido en el proceso de experimentación durante el verano del año 2022 han permitido el cálculo del flujo de calor convectivo y radiante para el frontal y el techo de la marquesina. En la Figura 3, se muestra un día tipo siguiendo la experimentación detallada en el apartado de Metodología. Se representa en color naranja la temperatura del aire, en azul la temperatura radiante media, en gris la temperatura de impulsión del agua, amarillo la temperatura de retorno del agua y en celeste la temperatura superficial media del frontal (Figura 3a) o el techo (Figura 3b).

**Figura 3: Datos experimentales de temperaturas de superficie, aire y agua de refrigeración**



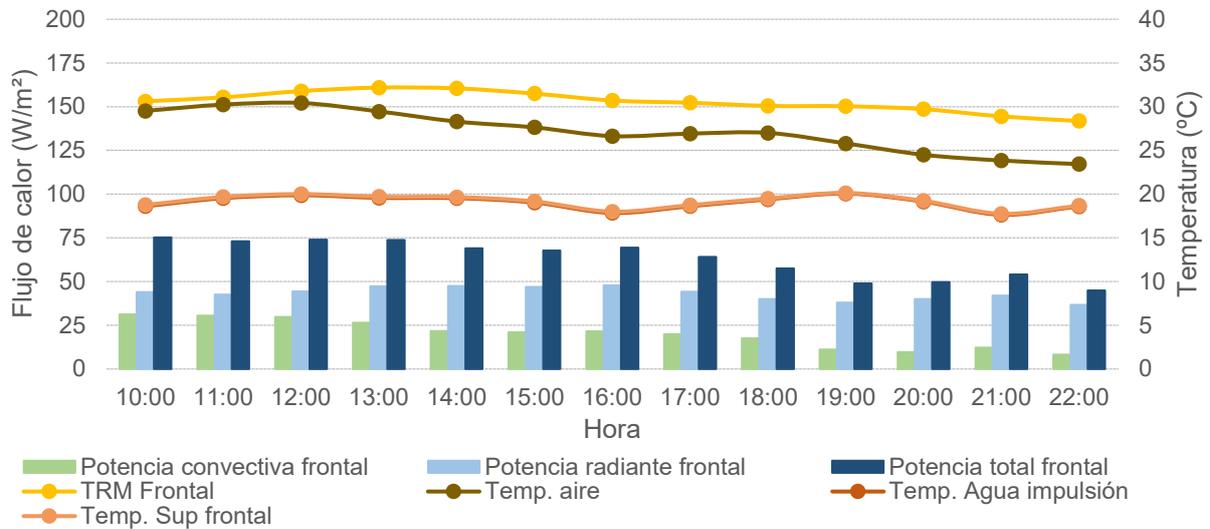
(a)



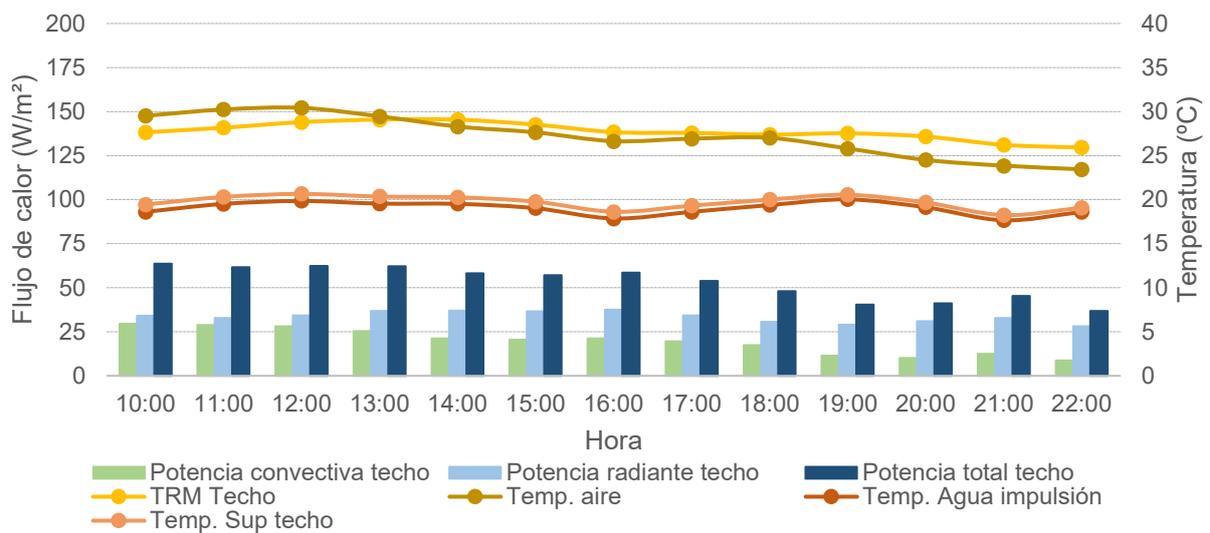
(b)

De igual forma, en la Figura 4 se representa los flujos de calor convectivos (verde), radiantes (celeste) y totales (azul) proporcionados por el frontal (Figura 4a) y el techo (Figura 4b). Se reflejan las temperaturas del aire, radiante y del agua de impulsión debido a que gracias a ellas se llevan a cabo el cálculo de cada uno de los flujos de calor representados. Tal y como se puede observar, el flujo de calor radiante es predominante tanto en frontal como en techo, representando al menos el 60% del total.

**Figura 4: Representación del flujo de calor convectivo, radiante y total**



(a)

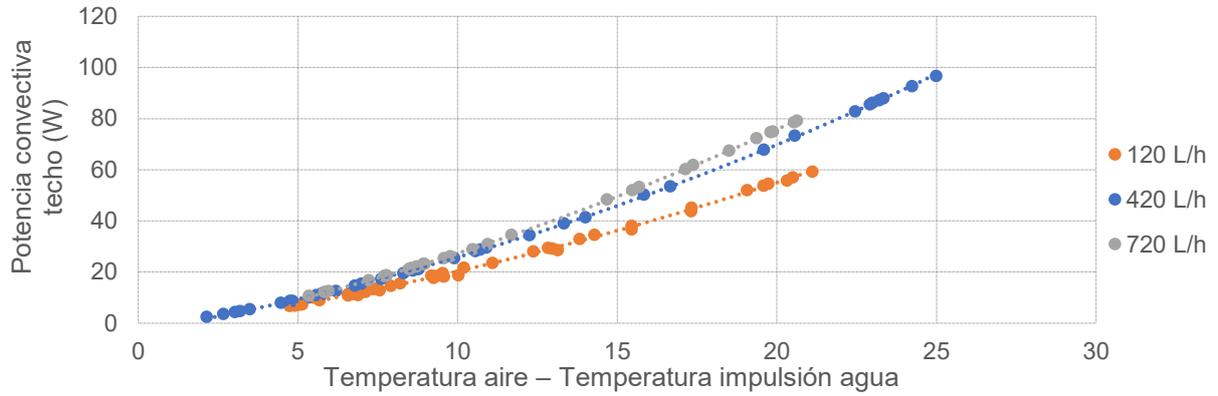
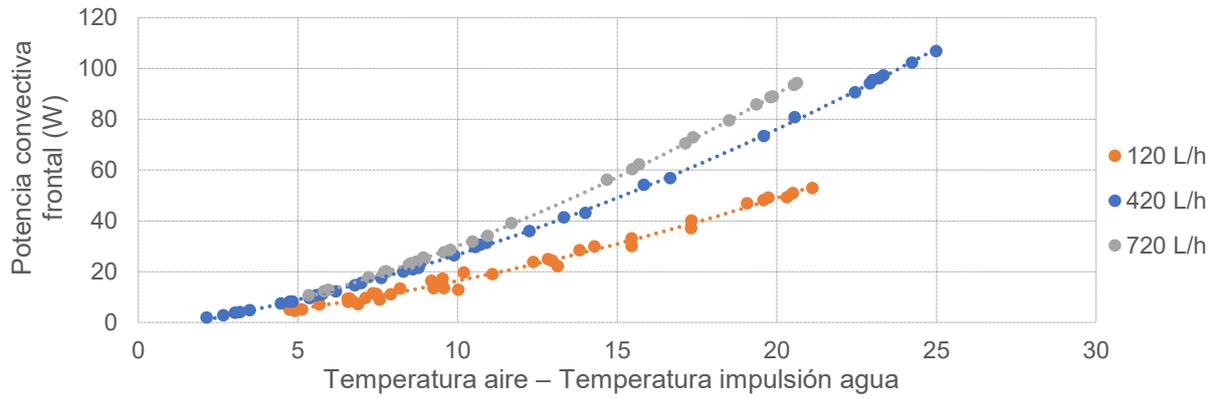


(b)

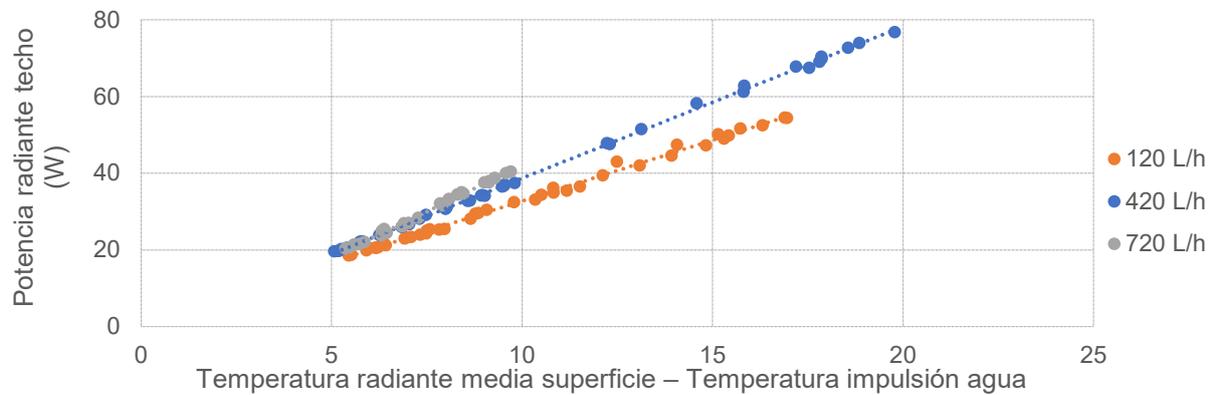
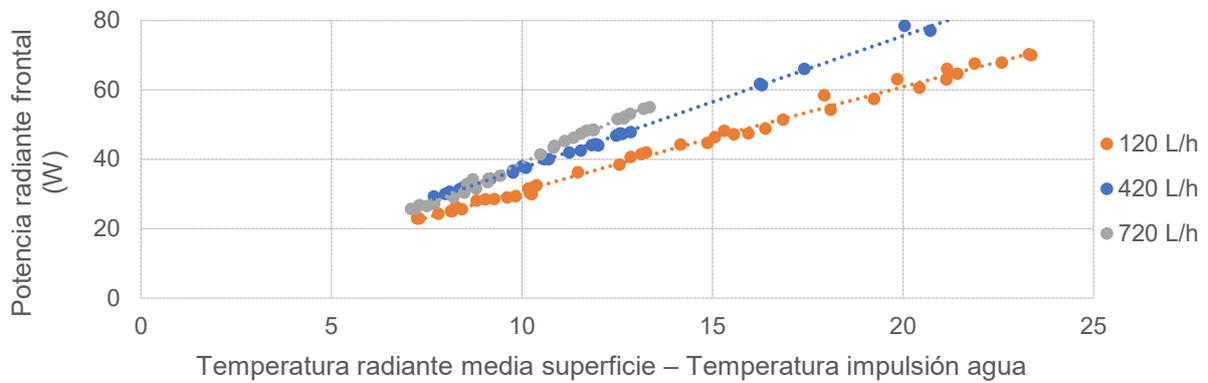
La influencia del caudal y el cambio de la temperatura del agua se ve reflejada en la variación de las potencias convectiva y radiante de la Figura 5. Se representa la potencia convectiva y radiante para cada parte de la marquesina frente a la diferencia de temperaturas que permite su cálculo. En el caso de la potencia convectiva se representa la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de impulsión del agua, mientras que para la potencia radiante se calcula mediante la temperatura radiante media de la superficie de estudio. El frontal queda representado en la Figura 5a y el techo en la Figura 5b. En azul, naranja y gris se representan cada uno de los caudales experimentados (120, 420 y 720 L/h).

A mayor flujo másico entrante, mayor potencia convectiva y radiante cedida por la marquesina. A medida que existe una mayor diferencia entre la temperatura del aire o radiante con respecto a la temperatura del agua, mayor será la potencia cedida. Se puede observar también que a medida que el flujo másico es mayor, más predominante se vuelve la potencia convectiva para el techo y el frontal. Esto se debe a que el tiempo de residencia del agua es menor en los tubos, reflejándose en el coeficiente de película convectivo por la velocidad que toma el agua.

Figura 5: Influencia del caudal en las potencias convectivas y radiantes



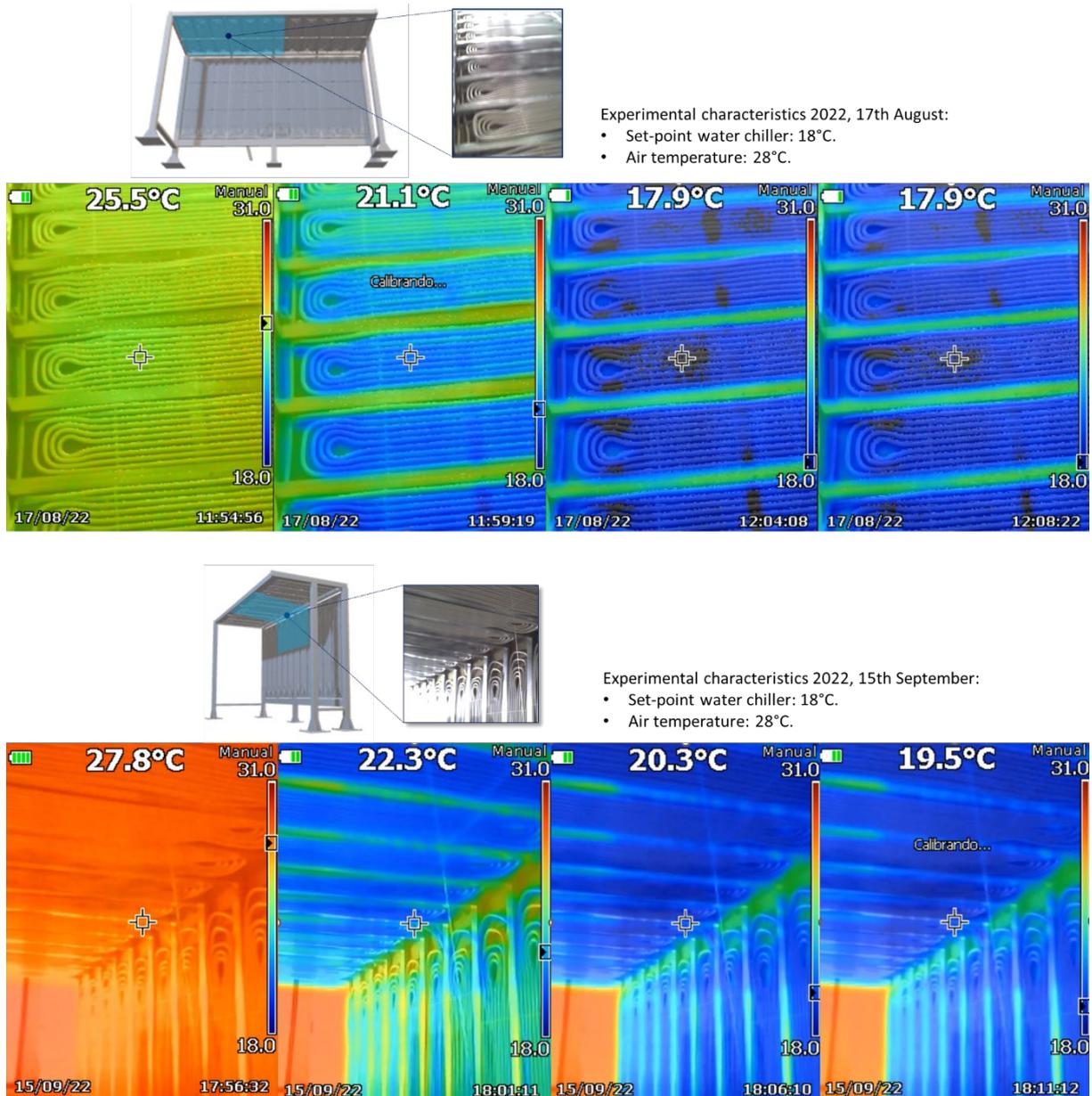
(a)



(b)

Por último, se han llevado a cabo termografías recurrentes para asegurar la correcta ejecución de los experimentos. TESTO 875i es la cámara termográfica utilizada, la cual permite realizar videos e imágenes de alta resolución. En la zona superior de las imágenes termográficas se puede apreciar la temperatura representativa del elemento que se está monitorizando. Asimismo, en la zona lateral derecha se muestra una escala colorimétrica ajustable. La Figura 6 muestra ocho instantáneas de los módulos del techo y del frontal de la marquesina. Se puede observar que la temperatura de ambas partes de la parada de autobús alcanza los 19°C en 20 minutos. Se observa que el flujo de calor por refrigeración es uniforme.

**Figura 6: Termografías de los módulos de refrigeración del techo y del frontal**



## 5. Conclusiones

El presente trabajo se centra en un proceso de experimentación exhaustivo para validar el funcionamiento de la tecnología radiante aplicada a la refrigeración del frontal y techo de marquesinas de autobús, con el propósito de que puedan servir como refugios climáticos para estancias de corta duración. Para ello, se ha diseñado y desarrollado una solución novedosa para refrigerar una marquesina que mejore el confort térmico de sus ocupantes durante su estancia. Tras la experimentación, se prueba que el 60% del flujo de calor emitido por los módulos se debe a la radiación, lo que demuestra las posibilidades de refrigeración radiante del sistema ante situaciones de calor extremo, como el caso de la ciudad de Sevilla, entre otras. Además, se puede observar que la refrigeración es uniforme, alcanzando temperaturas de confort en el interior de la estancia en tan solo 20 minutos desde la puesta en marcha del sistema. Además, gracias a la investigación realizada, se podría obtener un modelo de caracterización que podría generalizarse para el diseño y dimensionamiento de nuevas instalaciones urbanas. Asimismo, puesto que la solución tecnológica probada es eficiente, resultaría fácilmente replicable en toda la ciudad. Por otro lado, el impacto de los principales parámetros de confort, como el modelo de carga térmica o PET, sería un estudio complementario a realizar en líneas futuras de investigación. Finalmente, cabe destacar que esta nueva tecnología también podría aplicarse a períodos de calefacción invernal.

## 6. Referencias

- Alikhanova, A., Kakimzhan, A., Mukhanov, A., & Rojas-Solórzano, L. (2019). Design of a bus shelter based on green energy technologies for extreme weather conditions in Nur-Sultan, Kazakhstan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100544>
- Ayuntamiento de Cataluña. (2022). *Red de refugios climáticos. Barcelona por el Clima: Ecología, Urbanismo, Infraestructuras y Movilidad*.
- Ayuntamiento de Sevilla. (2022a, junio 21). *El Ayuntamiento avanza en la lucha contra el cambio climático con iniciativas pioneras para la adaptación de la ciudad a las olas de calor y con un proyecto piloto que convierte a Sevilla en el primer laboratorio urbano del mundo para anticiparse a estos episodios y afrontar sus efectos*.
- Ayuntamiento de Sevilla. (2022b, octubre 24). *El Ayuntamiento inaugura Cartuja Qanat, un proyecto de transformación urbana basado en tecnologías bioclimáticas innovadoras con un modelo que se enmarca en la estrategia municipal de lucha contra el cambio climático y que aspira a ser replicado en otros puntos de la ciudad*.
- Cheung, P. K., & Jim, C. Y. (2018). Comparing the cooling effects of a tree and a concrete shelter using PET and UTCI. *Building and Environment*, 130, 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.013>
- Dzyuban, Y., Ching, G. N. Y., Yik, S. K., Tan, A. J., Banerjee, S., Crank, P. J., & Chow, W. T. L. (2022). Outdoor thermal comfort research in transient conditions: A narrative literature review. *Landscape and Urban Planning*, 226, 104496. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104496>
- Dzyuban, Y., Hondula, D. M., Coseo, P. J., & Redman, C. L. (2022). Public transit infrastructure and heat perceptions in hot and dry climates. *International Journal of Biometeorology*, 66(2), 345-356. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02074-4>
- Goshayeshi, D., Zaky Jaafar, M., Fairuz Shahidan, M., & Khafi, F. (2013). Thermal comfort differences between polycarbonate and opaque roofing material installed in bus stations of Malaysia. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 2(3), 379-393.

- Greenhalgh, T., Jimenez, J. L., Prather, K. A., Tufekci, Z., Fisman, D., & Schooley, R. (2021). Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *The Lancet*, 397(10285), 1603-1605. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00869-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-2)
- Guerrero Delgado, Mc., Sánchez Ramos, J., & Álvarez Domínguez, S. (2020). Using the sky as heat sink: Climatic applicability of night-sky based natural cooling techniques in Europe. *Energy Conversion and Management*, 225, 113424. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113424>
- Guerrero Delgado, Mc., Sánchez Ramos, J., Pavón Moreno, Mc., Tenorio Ríos, J. A., & Álvarez Domínguez, S. (2020). Experimental analysis of atmospheric heat sinks as heat dissipators. *Energy Conversion and Management*, 207, 112550. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112550>
- Iqbal, S. (2019). *Thermal Comfort and Energy-Use in Urban Transitional Spaces. Bus stop in Slovenia*.
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Mohammadyan, M., Ghoochani, M., Kloog, I., Abdul-Wahab, S. A., Yetilmezsoy, K., Heibati, B., & Godri Pollitt, K. J. (2017). Assessment of indoor and outdoor particulate air pollution at an urban background site in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(5), 235. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5951-1>
- Mokhtari, R., Ulpiani, G., & Ghasempour, R. (2022). The Cooling Station: Combining hydronic radiant cooling and daytime radiative cooling for urban shelters. *Applied Thermal Engineering*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118493>
- Mokhtari, Z., Barghjelveh, S., Sayahnia, R., Karami, P., Qureshi, S., & Russo, A. (2022). Spatial pattern of the green heat sink using patch- and network-based analysis: Implication for urban temperature alleviation. *Sustainable Cities and Society*, 83, 103964. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103964>
- Mutani, G., Vodano, A., & Pastorelli, M. (2017). Photovoltaic solar systems for smart bus shelters in the urban environment of turin (Italy). *2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 20-25. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2017.8211671>
- United Nations Climate Change (UNCC). (s. f.). *El Acuerdo de París*.
- World Health Organization. (2020, marzo 29). *Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations*.
- Yücel Caymaz, G. F. (2018). Assessments of Satisfaction Level Among Bus Shelter Users: The Ataköy Zone 5 and Beşyol Metrobus Stops, Istanbul. *Journal of Architectural Research and Development*, 2(3). <https://doi.org/10.26689/jard.v2i3.392>

## Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

