

## **(05-028) - ComfyPlace: Evaluation and Design of Outdoor Urban Spaces for Climate Control**

ROMERO GARCÍA, CRISTIAN <sup>1</sup>; Montero-Gutiérrez, Mpaz <sup>1</sup>; Monge Palma, Rafael <sup>1</sup>; García-Melgar, Paulo <sup>1</sup>; Guerrero Delgado, Mcarmen <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Sevilla

The increasing frequency of heatwaves is significantly impacting the habitability of cities. In response to this trend, the scientific community has focused on thermal comfort, a vital component of a sustainable urban environment that goes beyond building construction to include activities in surrounding areas. Urbankea emerges as an innovative and scalable tool, whose calculation algorithms are fundamental in decision-making to improve the quality of life in outdoor spaces. This study places special emphasis on the ComfyPlace module of this tool, designed to simulate and evaluate thermal comfort in these spaces. ComfyPlace models the urban space as 'rooms' defined by their climate, geometry, occupation, and implemented technologies. The geometry is represented through a quadrangular mesh that allows the modeling of key components such as coverings, pavements, vegetation, and buildings. The results obtained are crucial for identifying the appropriate technologies to be installed in each area, defining an operational range that ensures optimal comfort levels for citizens. This approach is essential for planning and adapting urban space, mitigating the effects of climate change, and promoting the creation of natural areas to increase urban resilience.

Keywords: Climate Change; Urban Design Tool; Outdoor Thermal Comfort; Urban Spaces; Urban Components.

### **ComfyPlace: Evaluación y Diseño de Espacios Urbanos Exteriores para el Control Climático**

La creciente frecuencia de olas de calor está impactando significativamente la habitabilidad de las ciudades. En respuesta a esta tendencia, la comunidad científica se ha centrado en el confort térmico, un componente vital de un entorno urbano sostenible, que trasciende la construcción de edificios para incluir las actividades en sus zonas circundantes. Urbankea emerge como una herramienta innovadora y escalable, cuyos algoritmos de cálculo son fundamentales en la toma de decisiones para mejorar la calidad de vida en espacios exteriores. Este estudio pone especial énfasis en el módulo ComfyPlace de dicha herramienta, diseñado para simular y evaluar el confort térmico en estos espacios. ComfyPlace modela el espacio urbano como 'estancias' definidas por su clima, geometría, ocupación y tecnologías implementadas. La geometría se representa a través de una malla cuadrangular que permite la modelización de componentes clave como coberturas, pavimentos, vegetación y edificios. Los resultados obtenidos son cruciales para identificar las tecnologías apropiadas para instalar en cada área, definiendo un rango operativo que garantice niveles óptimos de confort para los ciudadanos. Este enfoque es esencial para planificar y adaptar el espacio urbano, mitigando los efectos del cambio climático y promoviendo la creación de áreas naturales para incrementar la resiliencia urbana.

Palabras clave: Cambio Climático, Herramienta de Diseño Urbano; Confort Térmico en Exteriores; Estancias urbanas; Componentes urbanos.

Correspondencia: cromero3@us.es



©2024 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/>).

Agradecimientos: Este estudio ha sido financiado por los proyectos "CONSTANCY- Metodologías de urbanización resiliente y acondicionamiento natural mediante soluciones basadas en la naturaleza y el patrimonio cultural para recuperar la vida en la calle" (PID2020-118972RB-I00) y el proyecto "NATURBEAM- Iluminando el camino hacia un futuro más verde para restaurar la habitabilidad urbana a través de soluciones basadas en la naturaleza" (TED2021-130416B-I00) por el Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades.

El segundo autor esta financiado por el Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades mediante la beca doctoral FPU22/03587.

El tercer autor está financiado por el Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades mediante una beca doctoral FPU21/02611.

## 1. Introducción

En los últimos años, el mundo ha experimentado un incremento de temperaturas, lo que ha exacerbado los fenómenos adversos asociados al calentamiento global. Este efecto es más pronunciado en las ciudades que en el medio rural, debido al fenómeno de Isla de Calor (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Además, las proyecciones sobre el futuro del cambio climático predicen un aumento en la frecuencia y severidad de las olas de calor (Fischer & Schär, 2010). En el año 2023, se registraron temperaturas muy altas, algunas de las cuales alcanzaron niveles extremos, estableciendo récords locales de temperatura en muchos países (Perkins-Kirkpatrick et al., 2024). Por ejemplo, en el Reino Unido, se ha registrado por primera vez una temperatura de 40°C (Zachariah et al., n.d.). En el caso de España, se prevé que para el año 2050 más del 90% de las ciudades españolas tendrán un clima cálido, desapareciendo así el clima frío de la Península Ibérica (Díaz-López et al., 2021). Esta tendencia sugiere que la planificación urbana actual puede no ser adecuada para prevenir el sobrecalentamiento urbano que está por llegar ni para garantizar la adaptación a las condiciones cada vez más cálidas que se encuentran los ocupantes de los espacios públicos de las ciudades (Nazarian et al., 2022).

A medida que los entornos urbanos se enfrentan a climas más cálidos, los planificadores urbanos tienen obstáculos relacionados con el confort térmico de los espacios asociados. Como resultado, las soluciones urbanas tradicionales no son suficientes para hacer frente a este desafío que plantea el entorno cambiante. Para abordar este nuevo escenario, es necesario ampliar el concepto de confort térmico más allá de los límites físicos de los edificios, dado que las olas de calor son más frecuentes e intensas (Fischer & Schär, 2010). Para mitigar este cambio y promover la habitabilidad de las ciudades, los futuros entornos urbanos deben considerar tanto los edificios como sus alrededores, mejorando sus envolventes térmicas y sirviendo como espacios exteriores y/o híbridos capaces de proporcionar un confort térmico natural, reduciendo así la dependencia de los sistemas de energía activa (Beck et al., 2018). Sin embargo, la evaluación del impacto de las intervenciones en los espacios urbanos presenta dificultades similares a la evaluación de los efectos reales de la isla de calor en áreas específicas (Nazarian et al., 2022).

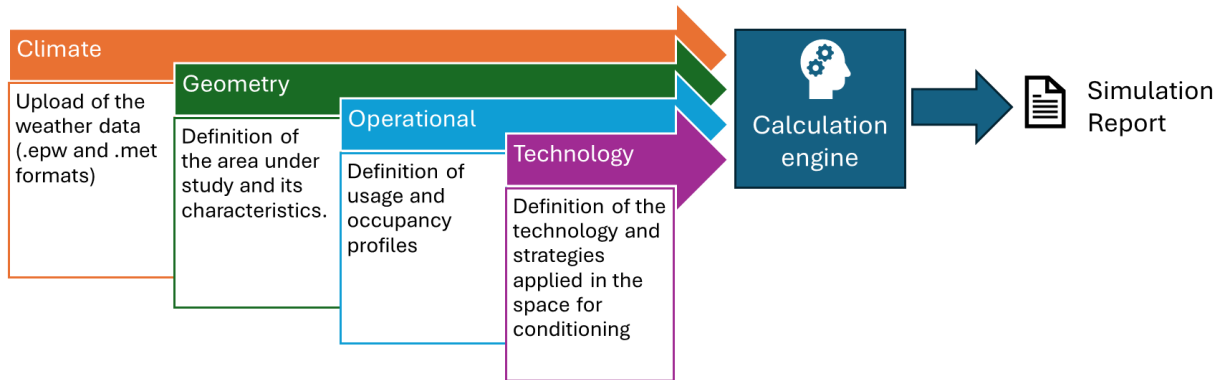
En este contexto, la herramienta Urbankea ha sido desarrollada para ayudar en el diseño y la evaluación de espacios urbanos. Urbankea ofrece una colección de módulos diseñados para crear soluciones urbanas que mejoren el confort térmico exterior en diversos contextos. Uno de estos módulos es "ComfyPlace", objetivo de este trabajo que, mediante simulaciones y análisis posteriores pretende dar solución a los espacios exteriores. Este módulo pretende facilitar la simulación en cualquier ubicación, incorporando parámetros como materiales a utilizar, clima urbano, régimen de ocupación y tecnologías intervinientes. De esta manera, puede evaluar y comprender el confort térmico en un entorno específico.

## 2. Metodología

### 2.1 Funcionalidad general

El principal objetivo en el desarrollo de la herramienta "ComfyPlace" es realizar una interfaz accesible e intuitiva para el usuario, ofreciendo a este la ayuda que necesite sobre los datos de entrada, de salida y sobre el proceso de cálculo (ver Figura 1). Para ello, el motor de cálculo necesita cuatro variables o entradas principales para ofrecer los resultados de salida: clima local, geometría del espacio urbano, perfil operacional del espacio mediante ratios de ocupación y utilización de las tecnologías de climatización integradas al espacio. Los datos de salida se muestran en un fichero descargable donde se informa sobre temperaturas superficiales, radiación directa y difusa e índices de confort sobre el ocupante.

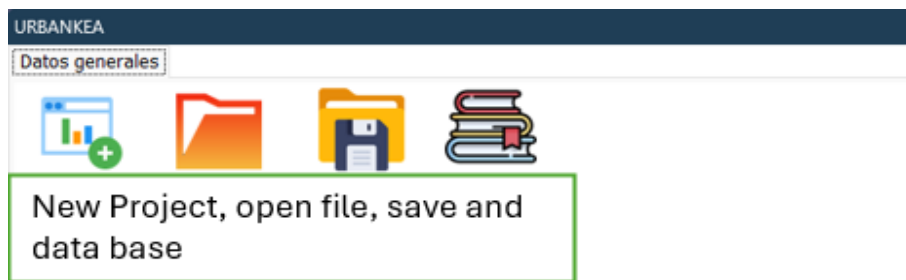
**Figura 1: Esquema general del módulo ComfyPlace**



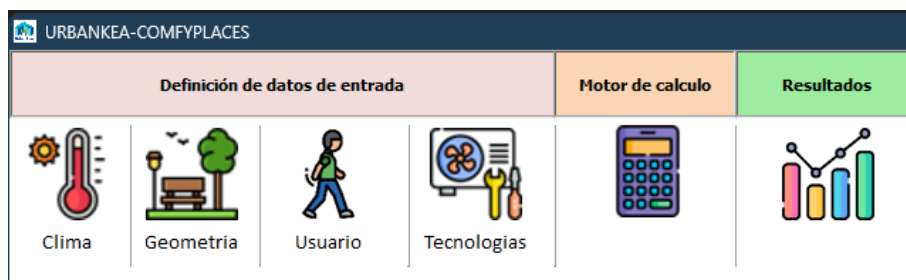
La interfaz de usuario para analizar un proyecto consiste en usar dos barras de herramientas. En la primera, tal y como se muestra en la Figura 2a, el usuario tiene la posibilidad de manejar las funcionalidades básicas del programa. En primer lugar, puede definir un nuevo proyecto, abrir un proyecto previamente realizado o guardar el trabajo. Como puede observarse, la opción de acceder a una base de datos está operativa. Esta base de datos es un extenso catálogo de componentes que recoge información térmica de cualquier elemento urbano. Entre ellas se encuentran las coberturas solares, los pavimentos y suelos, las fachadas y la vegetación.

Cuando el nuevo proyecto es creado, se activa la segunda barra de herramientas (ver Figura 2b). Esta da acceso a la definición de las pantallas de las cuatro variables de entrada previamente mencionadas. Además, tiene a su disposición la puesta en marcha del motor de cálculo y acceso a una pantalla de resultados que pueden ser exportados a un formato PDF para una mejor visualización. Todos los módulos funcionan de forma independiente, de tal manera que la modificación de uno de ellos no implica la modificación del resto, lo que permite el estudio de varios casos simplemente cambiando los valores deseados, sin tener que proceder a la creación de casos nuevos.

**Figura 2: Principales barras de tareas**



a



b

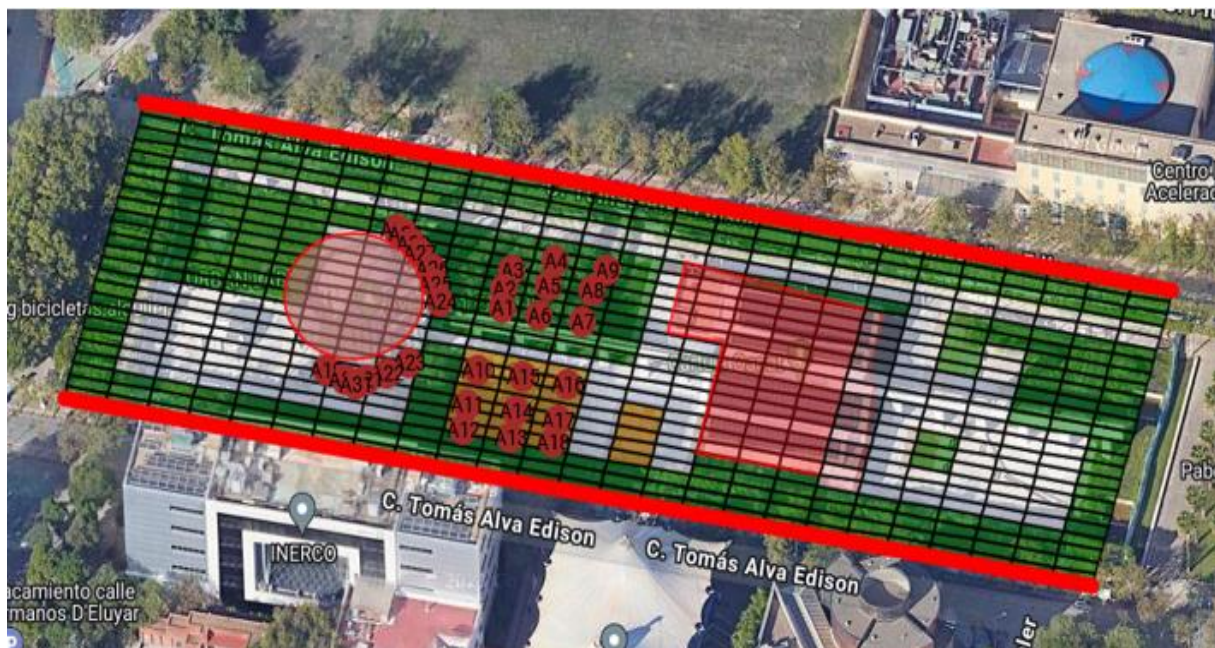
## 2.2 Geometría

La segunda variable se corresponde con la definición de la geometría. Para ello, la herramienta consta de un software de información geográfica GIS (Malczewski, 2004). Esta herramienta es el eje principal de la propuesta, puesto que permite al usuario tomar las decisiones a través del diseño y posterior análisis del caso de estudio real. Asimismo, permite la modificación de la geometría en sí misma de manera independiente, de tal forma que el usuario definiría la geometría nueva viendo los diferentes factores asociados. Además, esta herramienta consta de un mapa interactivo para definir los diferentes elementos urbanos que componen la zona de estancia. Este mapa interactivo utiliza una definición por capas.

La primera capa corresponde a la definición del pavimento o suelo de la estancia, lo que resulta de vital importancia porque el usuario podrá realizar las divisiones de la malla originaria según el detalle necesario, estableciendo diferentes tipos de elementos, pero siendo cada uno una entidad libre del resto de elementos, lo que permite ir añadiendo los atributos necesarios a cada elemento. La segunda capa corresponde a la definición de los diferentes tipos de árboles. La tercera capa corresponde a la definición de las fachadas circundantes encontradas. La cuarta y última capa corresponde a las zonas de las coberturas, pudiendo establecer la geometría que el usuario considere y estime oportuna. De esta manera, la herramienta permite la inclusión de cualquier tipo de elemento urbano, pudiendo el usuario definiendo a voluntad el espacio urbano a estudiar, permitiendo la extracción de todos los puntos geolocalizados. Además, los atributos de los elementos corresponden a las propiedades asociadas, definida en la base de datos.

En la Figura 3 muestra un caso de estudio real. Como se puede apreciar, la malla rectangular define tanto la zona estudiada como los diferentes tipos de suelos y pavimentos que se encuentran dentro de la misma, materializando las propiedades correspondientes de cada uno de los elementos, además de la asignación del color para su diferenciación. Las líneas rojas permiten la definición de los edificios circundantes al área estudiada. Los polígonos en rojo establecen las zonas de sombras encontradas en el espacio urbano. Los árboles se introducen manualmente por el usuario, siendo representados gráficamente por círculos rojos que comienzan desde (A1....A<sub>n</sub>)

Figura 3: Geometría usando la herramienta del mapa interactivo



### **2.3 Clima y datos operacionales**

La creación de herramientas de simulación térmica requiere de un conjunto de datos meteorológicos con una resolución de al menos una hora. En consecuencia, la mayoría de las bases de datos climáticas es compatible con este tipo de herramientas, de acuerdo con el manual de usuario para TMY3 (Wilcox & Marion, 1994). Esto da lugar a la utilización de varios tipos de archivos, como por ejemplo del tipo .epw y .met, que son varios de los formatos más utilizados, lo que elimina la necesidad de que el usuario tenga que realizar un análisis previo de los datos. Al suministrarlos, la herramienta genera un informe estadístico donde muestra las condiciones térmicas exteriores promedio para cada mes. Las variables definidas son las temperaturas, la irradiación solar, la velocidad y la dirección del viento. Además, la herramienta recomendará el uso de días clave para el diseño, permitiendo simular durante un periodo específico.

Por otra parte, el usuario puede establecer los datos operacionales del espacio, detallando el ratio de ocupación y la tipología de espacio tratado. Esto requiere la definición de datos correspondientes a la persona que ocupa la zona de estancia, como pueden ser el peso, altura, metabolismo, actividad y vestimenta. Para realizar cálculos más precisos del espacio se deben considerar todos estos factores. Al hacer uso del ratio de ocupación es necesario que el usuario defina la densidad de población. Estos datos son importantes para aproximar el confort térmico al uso de la estancia y poder establecer las zonas más críticas en el tiempo de uso.

### **2.4 Base de datos y tecnologías**

Como se ha mencionado anteriormente, este software utiliza una base de datos. Por ejemplo, en el apartado de la geometría, esta base de datos cobra un papel de vital importancia, puesto que permite la definición de todos los elementos de la estancia. Por este motivo, la base de datos cuenta con la capacidad de modificación, adicción, y/o eliminación de sus elementos. De esta manera, se le da al usuario la capacidad de establecer los materiales que considere oportunos, o modificar los diferentes tipos de suelos y/o pavimentos, estableciendo una serie de características que luego puede ajustar a lo que se encuentre en la zona estudiada. También se le da al usuario la capacidad de recuperación de la base de datos, de forma que el usuario puede añadir la base de datos o puede restablecer la base de datos originaria del sistema.

El usuario puede añadir elementos a los diferentes grupos de la base de datos. Estos consisten en coberturas, pavimentos y suelos, vegetación, fachadas y usos. Cada uno de estos módulos indica la funcionalidad de los diferentes materiales, agrupando todos los materiales que se pueden encontrar en cada una de sus categorías. Por ejemplo, en el menú de las coberturas se pueden encontrar coberturas textiles, madera, hormigón, metálicas y vegetación. En el menú de pavimentos, se puede encontrar pavimento impermeable, permeable y vegetación. Asimismo, la vegetación está dividida en tipos de plantas caducas y perennes, y fachadas de edificios.

Para la edición de las propiedades de los elementos, basta con tan solo seleccionar el mismo y tan solo usar un click derecho. A partir de ahí, la herramienta entiende la funcionalidad del material, siendo posible la edición de las propiedades, tales como la transmisividad, el espesor, la reflectividad, la permeabilidad, el rendimiento eléctrico (para paneles solares fotovoltaicos), la densidad y el calor específico. En el caso de los árboles, se puede ajustar su transmisividad para invierno y verano, además de ajustar la altura de los mismos y sus dimensiones en seis alturas diferentes, estableciendo el ancho y largo del árbol. Un ejemplo de esto se observa en la Figura 4, donde se puede apreciar una de las pantallas de la base de datos.



Figura 4: Pantalla de la base de datos

El módulo de tecnologías de acondicionamiento es la última entrada para definir el área a estudiar, como muestra la Figura 5. En este módulo, el usuario puede definir sistemas activos capaces de disminuir el estrés térmico, a partir de una unidad de tratamiento de aire exterior (enfriamiento sensible) o de superficies frías como pavimentos o cubiertas (enfriamiento radiante).

Figura 5: Pantalla de las diversas tecnologías

Las unidades de tratamiento de aire se utilizan para suministrar aire frío, lo que permite una temperatura mezclada en el espacio inferior a la temperatura del aire exterior, pudiendo asistirlo por agua en un estanque de agua, refrigeración por suelo o un enfriador evaporativo. Además, es posible definir sistemas como pavimentos radiantes o cubiertas utilizando agua de un estanque de agua. Todas las tecnologías de acondicionamiento se pueden utilizar simultánea o individualmente. El diseñador debe definir los datos de diseño: flujos de aire, flujos de agua y eficiencias del sistema. Sin embargo, la herramienta proporciona valores predefinidos para ayudar al usuario. Este tipo de sistemas deben integrarse únicamente en zonas exteriores, donde se debe garantizar un cierto nivel de confinamiento (por ejemplo, empotramiento en el suelo, adición de barreras vegetales, cubiertas textiles, etc.). Además, el diseñador debe de establecer las horas de funcionamiento del sistema.

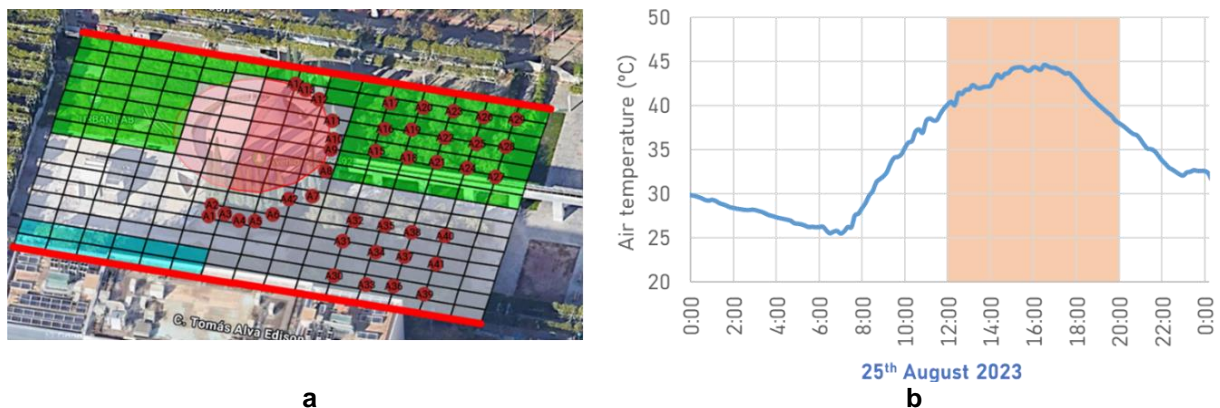
### 3. Resultados

#### 3.1 Caso de estudio

El caso de estudio se centra en una avenida de Sevilla, situada en el Parque Científico y Empresarial de la Isla de la Cartuja (lugar de la Expo 92). Esta avenida se renovó recientemente, incorporando estrategias de acondicionamiento bioclimático para crear un espacio público abierto que ofreciera un ambiente saludable y confortable para los residentes, especialmente interesante en ciudades y climas cálidos como Sevilla. El contexto se centra específicamente en la zona del anfiteatro, que está equipada con asientos y un escenario al aire libre. El objetivo es evaluar la eficacia de varios tipos de marquesinas solares para mejorar la habitabilidad de dicho espacio y crear un espacio con buena sombra. La Figura 6a de la herramienta "ComfyPlace" muestra el caso real de estudio. En este caso, se han examinado varios escenarios potenciales, que implican la prueba de diferentes materiales con variaciones en transmisividad y color, así como la inclusión de agua con fines de refrigeración. Para mitigar la entrada de aire caliente desde el suroeste, se plantaron altos cipreses con un denso follaje alrededor del anfiteatro.

El día de diseño elegido para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas corresponde al día más caluroso en Sevilla en el verano de 2023, con una temperatura registrada de 44,5°C (AEMET, n.d.) Este verano experimentó temperaturas inusualmente altas, incluidas varias olas de calor. La Figura 6b ilustra la gravedad de la ola de calor, mostrando la imposibilidad de alcanzar una temperatura del aire inferior a 25°C durante la noche y, especialmente durante la tarde (12h-20h), imposibilitando las actividades al aire libre debido a las altas temperaturas del aire. Estas condiciones exteriores ponen de relieve la relevancia de adaptar el espacio urbano para garantizar la habitabilidad de las ciudades.

Figura 6: Definición de elementos



a (a) Aire, vegetación, árboles y áreas. (b) Temperatura 2023



La efectividad de la estrategia fue evaluada considerando su impacto en la percepción térmica del individuo. Esta percepción, también conocida como confort térmico, suele definirse en la literatura como la respuesta del individuo al entorno térmico circundante. Esta respuesta puede formularse matemáticamente considerando un modelo fisiológico del cuerpo humano. Uno de los indicadores de confort más investigados es el Índice de Confort Térmico o COMFA (Brown & Gillespie, 1986). Este índice es útil para definir microclimas confortables y precisos para temperaturas altas y bajas. En cualquier momento dado, la ecuación de balance de calor delimita el intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno exterior. Todos los casos explorados incluyeron la integración de áreas de vegetación, aprovechando las siguientes mejoras en las cubiertas del anfiteatro:

- Caso 1. Cobertura textil con transmisividad de 70%, translucido (absortividad solar del 20%)
- Caso 2. Cobertura textil con transmisividad de 40%, color blanco (absortividad solar del 40%)
- Caso 3. Cobertura textil con transmisividad de 40%, color blanco (absortividad solar del 40%) y riego con agua (cobertura radiante)

### 3.2 Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos mediante el uso de la herramienta. La herramienta proporciona datos intuitivos, a través de las diferentes tablas, mostrando los periodos estudiados. Los usuarios pueden analizar cualquier área, superficie y variables de confort. En este caso, el valor de COMFA también se muestra. Los valores de COMFA están coloreados siguiendo la escala de clasificación asociada con climas cálidos y mostrados en la Tabla 2 (Potchter et al., 2018).

Se puede observar que el ocupante del anfiteatro muestra un alto nivel de estrés térmico durante las horas principales del día en el primer y segundo tipo de cobertura textil. Los valores de COMFA alcanzan valores superiores a 120 W/m<sup>2</sup> en la mayoría de las horas centrales del día. Este hecho es porque la transmisividad de la cobertura textil es alta y la persona se ve afectada por la radiación solar. Mientras tanto, la situación mejora considerablemente gracias a la instalación de una cubierta textil de baja transmisividad y con riego, reduciendo la temperatura superficial del entorno del ocupante y de la temperatura operativa del espacio. Se observa una mejora en el índice de confort de hasta un 70% en este caso final, con la persona encontrándose en un estado cálido

**Tabla 1. Resultados de los tres casos probados en la herramienta**

Hour/ COMFA (W/m <sup>2</sup> )	Case 1	Case 2	Case 3
12:00	135	127	86
14:00	194	190	111
16:00	220	215	134
18:00	165	140	116
20:00	120	110	81

**Tabla 2. Escala de valoración COMFA**

Heat load Q (W/m <sup>2</sup> )	>150	120 – 150	85 – 120	50 – 85	- 50 – 50
Consideration	Very hot	Hot	Warm	Slightly warm	Comfort

#### 4. Conclusiones

La herramienta Urbankea ha sido desarrollada para ayudar a diseñar y evaluar espacios urbanos. Urbankea presenta una colección de módulos diseñados para diseñar soluciones urbanas que mejoren el confort térmico al aire libre en diversos contextos y escenarios climáticos, lo que permite explotar diferentes soluciones de adaptación, así como sistemas activos para acondicionar espacios exteriores.

El módulo "ComfyPlace" posibilita una interfaz accesible e intuitiva para el usuario simular soluciones de intervención en el espacio público considerando el clima local, geometría del espacio urbano, perfil operacional del espacio mediante tasas de ocupación y utilización de las tecnologías de climatización integradas al espacio. Permitiendo la toma de decisiones con respecto a dicho espacio, realizando diferentes tipos de comprobaciones al estar todas sus variables independizadas. Además, la herramienta introduce un mapa interactivo que permite al usuario definir las intervenciones a realizar directamente sobre la malla urbana representada a través de un sistema GIS, consiguiendo la ubicación de todos los elementos urbanos suministrados por el usuario.

Los resultados del caso de estudio indican la relevancia de introducir estrategias para reducir el impacto de las condiciones climáticas adversas. Se ha podido verificar que el efecto de enfriamiento efectivo solo fue posible al introducir una cubierta de baja transmitancia combinada con una solución radiante de enfriamiento. Esto se tradujo en una mejora en el índice de confort de hasta un 70% con el individuo en un estado cálido. Considerando que las intervenciones convencionales basadas solo en vegetación o nuevos materiales no podrían satisfacer todos los desafíos introducidos por un clima más cálido.

El cambio climático está provocando impactos severos en el clima mundial. El verano del año 2023 sirve como ejemplo de lo que se podría esperar en los próximos años. Es probable que un clima más cálido conduzca olas de calor más severas e intensas, reduciendo la habitabilidad en espacios públicos, lo que subraya la importancia de adaptar los espacios urbanos.

Los resultados del estudio enfatizan la importancia de implementar estrategias de adaptación climática en el diseño urbano para mitigar los efectos adversos del cambio climático. La combinación de soluciones innovadoras, como cubiertas de baja transmitancia y sistemas radiantes de enfriamiento, demuestra ser efectiva para mejorar el confort térmico en espacios urbanos al aire libre.

Los hallazgos sugieren que abordar los desafíos del cambio climático en entornos urbanos requiere enfoques integrales que consideren múltiples factores, incluida la geometría del espacio, el clima local y el comportamiento humano. La herramienta "ComfyPlace" proporciona una plataforma para evaluar y diseñar soluciones urbanas holísticas que promuevan el confort térmico y la habitabilidad en espacios públicos.

#### 5. Referencias

- AEMET. (n.d.). *AEMET, Avance Climático Nacional de verano de 2023, Madrid, 2023*. . . Retrieved February 22, 2024, from [https://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2023/avance\\_clima\\_verano\\_2023.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2023/avance_clima_verano_2023.pdf)
- Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1986). Estimating Outdoor Thermal Comfort Using a Cylindrical Radiation Thermometer and an Energy Budget Model. In *Int. J. Biometeor* (Vol. 30, Issue 1).
- Díaz-López, C., Jódar, J., Verichev, K., Rodríguez, M. L., Carpio, M., & Zamorano, M. (2021). Dynamics of changes in climate zones and building energy demand. A case study in Spain. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094261>

- Fischer, E. M., & Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(6), 398–403. <https://doi.org/10.1038/ngeo866>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Technical Summary. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 35–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. In *Progress in Planning* (Vol. 62, Issue 1, pp. 3–65). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Nazarian, N., Krayenhoff, E. S., Bechtel, B., Hondula, D. M., Paolini, R., Vanos, J., Cheung, T., Chow, W. T. L., De Dear, R., Jay, O., Lee, J. K. W., Martilli, A., Middel, A., Norford, L. K., Sadeghi, M., Schiavon, S., & Santamouris, M. (2022). *Integrated Assessment of Urban Overheating Impacts on Human Life*. <https://doi.org/10.1029/2022EF002682>
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2018a). *Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2018b). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of The Total Environment*, 631–632, 390–406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- Wilcox, S., & Marion, W. (1994). *Innovation for Our Energy Future Users Manual for TMY3 Data Sets*. <http://www.osti.gov/bridge>
- Zachariah, M., Vautard, R., Schumacher, D. L., Vahlberg, M., Heinrich, D., Raju, E., Thalheimer, L., Arrighi, J., Singh, R., Li, S., Sun, J., Vecchi, G., Yang, W., Seneviratne, S. I., Tett, S. F. B., Harrington, L. J., Wolski, P., Lott, F. C., Mccarthy, M., ... Otto, F. E. L. (n.d.). *Without human-caused climate change temperatures of 40 o C in the UK would have been extremely unlikely*. <https://blog.metoffice.gov.uk/2022/07/27/july-2022-a-dry-run-for-uks-future-climate/>

**Comunicación alineada con los  
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

