

PRIORIZACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN CLIMÁTICA URBANA EN ESPAÑA

M. Arbulu Dudagoitia, X. Oregi Isasi

Universidad del País Vasco UPV/EHU, Donostia, España

RESUMEN

Las ciudades españolas afrontan riesgos climáticos crecientes, como olas de calor, sequías y fenómenos extremos, intensificados por el efecto de isla de calor urbano. Aunque las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) se han incorporado de manera generalizada en los planes urbanísticos, su eficacia resulta difícil de anticipar antes de la implementación, lo que limita la capacidad de las administraciones públicas para tomar decisiones fundamentadas. Actualmente, los métodos de evaluación se apoyan principalmente en el monitoreo posterior, dejando a los responsables de la planificación sin herramientas predictivas sólidas.

El proyecto NBS4UCAadapt (Priorización de Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Adaptación Climática Urbana en España) responde a este desafío mediante una propuesta innovadora que combina la evaluación cuantitativa con el desarrollo de herramientas predictivas para la implementación de estrategias de adaptación en el contexto español.

El proyecto persigue dos objetivos principales. (1) El primer objetivo, con un carácter académico y global, busca crear y validar un marco de evaluación para la implementación de soluciones de adaptación climática en espacios urbanos a través de SBN. Para ello se definirá un procedimiento de evaluación basado en simulaciones con la herramienta ENVI-met. (2) El segundo objetivo, con un carácter práctico y aplicado al contexto español, es desarrollar un sistema de valoración y una guía de priorización para la aplicación de SBN en ciudades españolas. Este sistema se fundamentará en diagnósticos urbanos específicos, considerando las diversas zonas climáticas del país, con datos actuales y proyecciones de escenarios futuros.

Los resultados esperados abarcan desde la generación de conocimiento en materia de evaluación ex-ante de SBN hasta la transferencia de herramientas prácticas. El enfoque se apoya en el modelo de la Cuádruple Hélice, fomentando la colaboración entre academia, administraciones, sector privado y sociedad civil. De este modo, se busca generar conocimiento con base empírica y, al mismo tiempo, alcanzar un carácter aplicado mediante herramientas que puedan integrarse en el planeamiento urbanístico y en la práctica constructiva. Estas herramientas estarán disponibles tanto para la administración pública como para agentes del sector privado. Asimismo, el proyecto contempla acciones de difusión dirigidas a colectivos profesionales y actores públicos vinculados con la construcción y la sostenibilidad, con el fin de garantizar la transferencia efectiva de resultados.

En conclusión, los impactos proyectados por NBS4UCAdapt se extienden desde la generación de conocimiento científico-técnico hasta el desarrollo de recursos útiles para la adaptación climática de espacios urbanos. A través de su aplicabilidad directa, se pretende potenciar el diseño de estrategias de adaptación eficaces, capaces de estimular el sector y aumentar la confianza en las inversiones, tanto públicas como privadas. Como consecuencia, se espera contribuir a la mejora de las condiciones de salud en entornos urbanos y a la protección de personas vulnerables frente a fenómenos climáticos extremos. En última instancia, los resultados previstos favorecerán la construcción de ciudades más saludables y equitativas, reduciendo el riesgo climático y asegurando que las inversiones públicas en adaptación urbana se traduzcan en beneficios tangibles para la población.

PALABRAS CLAVE: riesgo climático, resiliencia urbana, simulación, ENVI-Met, sistema de valoración.

1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades españolas afrontan un incremento progresivo de los riesgos asociados al cambio climático, entre los que destacan el aumento de las temperaturas, la intensificación de las olas de calor y la exacerbación del efecto de isla de calor urbana. Estos fenómenos afectan de manera directa a la habitabilidad del espacio público y al comportamiento ambiental del entorno edificado, con implicaciones relevantes para el confort térmico, la salud urbana y la calidad de vida de la población [1], [2].

En este contexto, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) se han consolidado como una de las principales estrategias de adaptación climática en el ámbito urbano, integrándose de forma creciente en instrumentos de planeamiento, proyectos de regeneración urbana y actuaciones vinculadas a la edificación [3]. La incorporación de vegetación, sistemas de drenaje sostenible o superficies permeables ha demostrado su potencial para mitigar el sobrecalentamiento urbano y mejorar las condiciones ambientales de los espacios exteriores. No obstante, diversos estudios ponen de manifiesto que la eficacia de estas soluciones depende en gran medida del contexto urbano y climático en el que se implantan, lo que limita la extrapolación directa de resultados entre ciudades o tipologías urbanas distintas [4].

Actualmente, una parte significativa de los estudios y proyectos relacionados con SBN se apoya en evaluaciones ex-post, basadas en el seguimiento de casos implementados o en experiencias piloto [5]. Si bien estos trabajos han contribuido de forma notable al avance del conocimiento, presentan limitaciones desde el punto de vista de la transferibilidad y de la toma de decisiones en fases tempranas del proyecto. En ausencia de herramientas predictivas, la selección de estrategias de adaptación suele basarse en criterios cualitativos o en la replicación de soluciones previamente aplicadas, introduciendo un elevado grado de incertidumbre en el proceso proyectual.

En el ámbito de la edificación y el urbanismo, esta incertidumbre se traduce en dificultades para justificar técnicamente determinadas decisiones de diseño y para priorizar intervenciones en contextos urbanos diversos y bajo escenarios climáticos cambiantes. En este sentido, resulta necesario avanzar hacia enfoques que permitan anticipar el comportamiento ambiental de las estrategias de

adaptación antes de su implementación, facilitando una toma de decisiones más informada y alineada con los objetivos de resiliencia climática urbana [6,7].

El presente trabajo se sitúa en este marco y tiene como objetivo presentar un enfoque metodológico orientado a la evaluación ex-ante de estrategias de adaptación climática urbana basadas en SBN, aplicable al entorno construido y al espacio público. El enfoque propuesto combina herramientas de simulación ambiental con un marco de análisis comparativo, con el fin de apoyar la toma de decisiones en fases tempranas del proyecto urbano y edificatorio.

2. METODOLOGÍA

El trabajo se fundamenta en un enfoque metodológico orientado a la evaluación ex-ante de estrategias de adaptación climática urbana, con especial atención a las SBN aplicadas al entorno construido y al espacio público, siguiendo la metodología dividida en tres etapas (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El objetivo de la metodología es generar información técnica comparable que permita apoyar la toma de decisiones en fases tempranas del proyecto urbano y edificatorio, reduciendo la incertidumbre asociada a la selección de este tipo de intervenciones.

2.1. Análisis de tres ejes

La primera etapa se basa en el análisis fundamental de los tres ejes que conforman el estudio: el espacio urbano, las condiciones climáticas y las SBN. Se analiza cada eje de manera individual, identificando los indicadores clave que caracterizan cada eje desde el punto de vista de las condiciones ambientales:

- **Espacio urbano:** se consideran las características físicas y morfológicas del entorno construido, incluyendo la geometría del espacio, la relación con la edificación y los materiales predominantes, por su influencia directa en el comportamiento ambiental.
- **Condiciones climáticas:** el análisis incorpora condiciones climáticas actuales y escenarios futuros, con el objetivo de evaluar la capacidad de adaptación de las estrategias ante un contexto de cambio climático.
- **Soluciones Basadas en la Naturaleza:** se analizan distintas tipologías de SBN aplicables al espacio urbano y al entorno edificatorio, entendidas como estrategias que interactúan con la morfología urbana y las condiciones climáticas.

La combinación de estos ejes permite generar escenarios de estudio representativos y comparables, facilitando una evaluación coherente de las estrategias de adaptación.

2.2. Evaluación de condiciones ambientales

La segunda etapa se basa en la evaluación cuantitativa de las condiciones ambientales de escenarios compuestos por los tres ejes. Esta combina herramientas de simulación ambiental urbana con un marco de análisis comparativo, permitiendo anticipar el comportamiento relativo de distintas estrategias de adaptación bajo condiciones urbanas y climáticas específicas [8]. Frente a evaluaciones basadas exclusivamente en experiencias previas o en resultados ex-post, la metodología propuesta prioriza la capacidad predictiva y la transferibilidad a distintos contextos urbanos.

La evaluación se apoya en la modelización del microclima urbano como herramienta para analizar el impacto potencial de diferentes estrategias de adaptación. Este tipo de aproximaciones ha demostrado su utilidad para evaluar el comportamiento térmico y ambiental de espacios urbanos complejos, permitiendo analizar escenarios alternativos de intervención de forma controlada [9].

La evaluación se plantea desde una lógica comparativa, en la que distintos escenarios de intervención se analizan bajo condiciones equivalentes, facilitando la identificación de tendencias de comportamiento y diferencias relativas entre alternativas. Este planteamiento favorece la interpretación de los resultados por parte de técnicos y proyectistas y resulta especialmente adecuado para su integración en procesos de diseño y planificación urbana.

2.3. Toma de decisión

La tercera etapa desarrolla el marco de toma de decisión en base a la evaluación cuantitativa de condiciones ambientales compuestos por los tres ejes de espacios públicos, condiciones climáticas y la aplicación de SBN. Para ello, se interpretan los resultados técnicos en información útil para la toma de decisiones, siendo uno de los elementos clave del proyecto. Los resultados obtenidos se estructuran de forma que permitan comparar el comportamiento relativo de las distintas estrategias analizadas, identificando aquellas con mayor potencial de adaptación en función del contexto urbano y climático considerado.

Este enfoque está orientado a su aplicación en fases tempranas de planificación urbana y diseño arquitectónico, donde la incorporación de criterios ambientales puede condicionar significativamente la eficacia final de las intervenciones. De este modo, la metodología se plantea como una herramienta de apoyo que complementa los procesos habituales de proyecto, facilitando una toma de decisiones más informada y coherente con los objetivos de adaptación climática urbana.

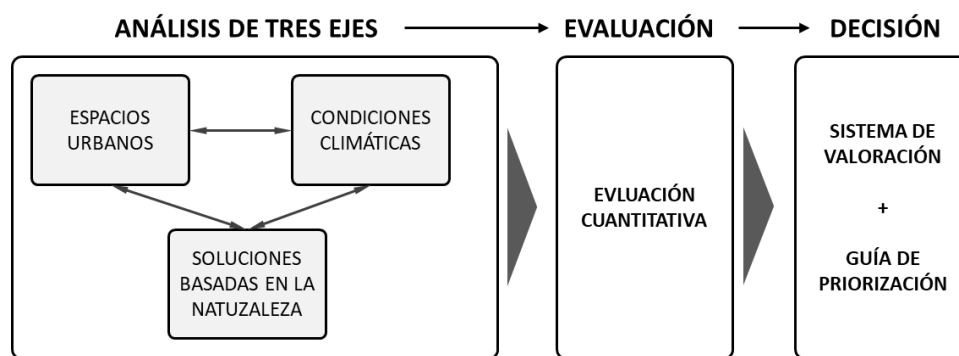


Figura 1. Metodología basada en el análisis de tres ejes, la evaluación cuantitativa y el desarrollo de un marco de toma de decisión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del enfoque metodológico propuesto ha permitido obtener primeras evidencias sobre el potencial de la evaluación ex-ante como herramienta de apoyo a la adaptación climática urbana mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Los resultados obtenidos no se plantean como valores absolutos cerrados, sino como información comparativa que permite analizar el

comportamiento relativo de distintas estrategias en función del contexto urbano y climático considerado.

Los análisis realizados ponen de manifiesto que la eficacia de las SBN presenta una alta dependencia del contexto, confirmando la influencia significativa de la morfología urbana, la relación con la edificación y las condiciones climáticas en su comportamiento ambiental en línea con lo señalado por estudios previos [4]. Esta variabilidad refuerza la necesidad de enfoques específicos y evita la aplicación indiscriminada de soluciones estandarizadas en entornos urbanos diversos.

Se mostrarán aquí los resultados obtenidos de la investigación en el área y problemática descrita en la introducción mediante los protocolos de actuación y sistemas descritos en el apartado de desarrollo y metodología.

Los autores deben redactar las primeras evidencias parciales de acuerdo a los resultados obtenidos, además de indicar y describir los posibles puntos atípicos o relaciones llamativas obtenidas tras realizar el estudio.

3.1. Evidencias preliminares del enfoque metodológico

Los resultados preliminares muestran que el uso de simulación ambiental permite identificar diferencias de comportamiento entre estrategias de adaptación que no son evidentes mediante aproximaciones cualitativas o basadas únicamente en experiencias previas. En este sentido, el enfoque facilita la detección de tendencias y relaciones entre variables urbanas y climáticas, aportando información relevante para la selección y combinación de soluciones.

Muestra de ello es la experiencia en un aula de acondicionamiento urbano del grado de Fundamentos de Arquitectura en la Universidad del País Vasco (EHU), presentado en el congreso de innovación docente INTED 2025 [10]. Se realizó una prueba piloto de la integración de la herramienta de simulación ENVI-Met para evaluar las condiciones ambientales de espacios urbanos, en estado actual y en estado reformado integrando SBN. La Figura 2 muestra los resultados de una simulación, representando las condiciones ambientales de un espacio urbano.

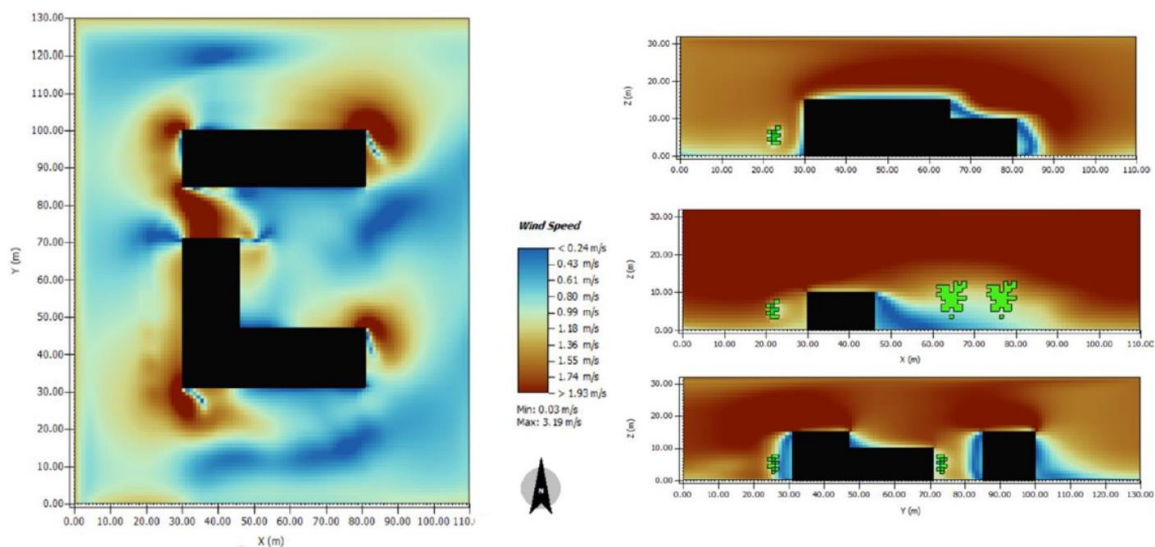


Figura 2. Representación de las condiciones ambientales de una simulación de un espacio urbano en la herramienta ENVI-met. Fuente: X. Oregi, M. Arbulu (2025) [10].

Además, el estudio actual no solo se basa en la comparación entre escenarios permite evaluar no solo el impacto individual de cada estrategia, sino también su interacción con el entorno urbano existente, poniendo de relieve posibles sinergias o limitaciones derivadas de la configuración del espacio público y del entorno edificatorio.

3.2. Aplicabilidad y limitaciones

Desde el punto de vista de la práctica profesional, los resultados obtenidos evidencian el valor del enfoque metodológico como herramienta de apoyo en fases tempranas de proyecto, donde las decisiones adoptadas condicionan de forma significativa el desempeño ambiental futuro de los espacios urbanos. La posibilidad de anticipar comportamientos relativos contribuye a reducir la incertidumbre asociada a la incorporación de SBN en proyectos de edificación y urbanismo.

No obstante, el enfoque presenta también ciertas limitaciones inherentes a los procesos de modelización y simulación ambiental, como la necesidad de simplificar la complejidad del entorno urbano real o la dependencia de la calidad de los datos de entrada aspectos ampliamente reconocidos en la literatura [7]. Estas limitaciones refuerzan la importancia de interpretar los resultados como herramientas de apoyo a la decisión, y no como predicciones deterministas.

3.3. Implicaciones para la adaptación climática urbana

Los resultados preliminares obtenidos apuntan a que la evaluación ex-ante mediante simulación puede contribuir de forma significativa a mejorar la coherencia entre planificación urbana, diseño arquitectónico y objetivos de adaptación climática. Al facilitar una comparación estructurada entre alternativas, el enfoque favorece una selección más informada de estrategias, alineada con las condiciones específicas de cada contexto urbano.

En este sentido, la metodología propuesta se posiciona como un puente entre el análisis técnico y la práctica proyectual, aportando un marco que puede ser integrado progresivamente en los procesos habituales de diseño y planificación urbana orientados a la resiliencia climática.

3.4. Ejemplificación de la aplicación de los resultados

Como ejemplo concreto de un resultado con aplicabilidad directa, se presenta la Guía de Priorización. Esta herramienta está orientada al planeamiento de espacios urbanos, incorporando una perspectiva de adaptación climática mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Un caso ilustrativo corresponde al proyecto de urbanización de una avenida, en el cual el proyectista puede emplear la Guía de Priorización para establecer un orden de preferencia entre distintas estrategias de adaptación climática.

Para ello, resulta necesario que los proyectistas caractericen el escenario objeto de intervención, con el fin de identificar las soluciones más adecuadas. Por una parte, se debe caracterizar e identificar el tipo de espacio urbano en términos de tipología y escala. Por otra parte, es preciso caracterizar las condiciones climáticas, de acuerdo con la zona climática y la vida útil estimada del espacio público a proyectar, con el objetivo de definir la extensión temporal de los escenarios climáticos futuros.

Una vez identificados los condicionantes del espacio público y de la climatología, el proyectista puede consultar la eficiencia de múltiples SBN en el escenario previamente caracterizado. De este modo, es

posible establecer una priorización de estrategias basada en la evaluación cuantificada de cada escenario. Este proceso, pese a su funcionamiento simple, puede elevar el diseño de espacios urbanos a un nivel de complejidad muy alto, al fundamentar las decisiones proyectuales en un estudio científico complejo, sustentado en una evaluación cuantificada, extensiva y profunda, de la eficiencia de las SBN.

La Figura 3 muestra un posible flujo de trabajo, en el cual la herramienta prioriza las estrategias de SBN más adecuadas en función del espacio urbano y de las condiciones climáticas identificadas.

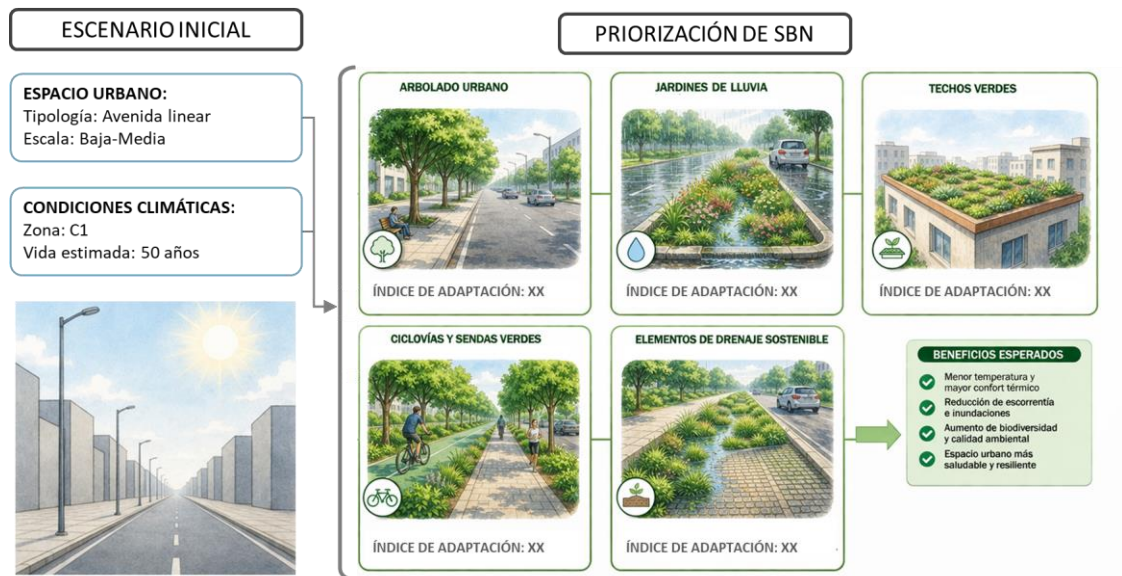


Figura 3. Ejemplo del flujo de trabajo para la aplicación de la Guía de Priorización.

4. CONCLUSIONES

El trabajo presentado propone un enfoque metodológico orientado a la evaluación ex-ante de estrategias de adaptación climática urbana, con especial atención a las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) aplicadas al entorno construido y al espacio público. Frente a aproximaciones basadas en evaluaciones ex-post o en la replicación de experiencias previas, el enfoque desarrollado pone el énfasis en la capacidad predictiva y comparativa como apoyo a la toma de decisiones en fases tempranas del proyecto urbano y edificatorio.

Los resultados preliminares obtenidos evidencian la alta dependencia contextual del comportamiento de las SBN, confirmando que su eficacia está fuertemente condicionada por la morfología urbana, la relación con la edificación y las condiciones climáticas. Esta variabilidad refuerza la necesidad de disponer de herramientas que permitan analizar de forma específica cada contexto, evitando la aplicación de soluciones genéricas que no siempre garantizan una respuesta adecuada frente a los riesgos climáticos urbanos.

Desde el punto de vista metodológico, el enfoque propuesto demuestra su potencial para estructurar y traducir información técnica compleja en criterios comprensibles, facilitando la comparación relativa entre alternativas de adaptación. Esta capacidad resulta especialmente relevante para profesionales

del ámbito de la edificación y el urbanismo, así como para administraciones públicas, al contribuir a reducir la incertidumbre asociada a la selección de estrategias de adaptación climática.

Asimismo, el trabajo pone de manifiesto que la integración de escenarios climáticos actuales y futuros en los procesos de evaluación constituye un elemento clave para avanzar hacia intervenciones urbanas más robustas y resilientes, alineadas con los objetivos de adaptación a medio y largo plazo. La consideración de esta dimensión temporal permite reforzar la coherencia entre planificación, diseño y ejecución de actuaciones en el entorno urbano.

Como líneas futuras, el desarrollo del enfoque metodológico continuará orientado a su validación progresiva en distintos contextos urbanos, así como a la mejora de su aplicabilidad práctica mediante su integración en guías y herramientas de apoyo a la decisión. En este sentido, el trabajo sienta las bases para avanzar hacia procesos de planificación urbana y diseño arquitectónico más informados, capaces de incorporar de forma efectiva criterios de adaptación climática en la transformación de las ciudades.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] European Environment Agency, *European Climate Risk Assessment*, EEA Report, Copenhagen, Denmark, 2024.
- [2] European Environment Agency, *Urban adaptation in Europe: What works?*, EEA Report, Copenhagen, Denmark, 2023.
- [3] European Commission, *Nature-based solutions: State of the art in EU-funded projects*, Directorate-General for Research and Innovation, Brussels, Belgium, 2020.
- [4] J. J. Kleerekoper, M. van Esch, and T. B. Salcedo, "How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 64, pp. 30–38, 2012.
- [5] European Commission, *Evaluating the impact of nature-based solutions*, Directorate-General for Research and Innovation, Brussels, Belgium, 2024.
- [6] European Commission, *The EU Strategy on Adaptation to Climate Change*, Brussels, Belgium, 2021.
- [7] Gobierno de España (MITERD), *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021–2030 (PNACC)*, Madrid, Spain, 2020.
- [8] A. M. Broadbent, D. Krayenhoff, and M. Sailor, "Urban climate modelling: a review of approaches, challenges and applications," *Urban Climate*, vol. 31, 100545, 2020.
- [9] T. L. Fröhlich and A. Matzarakis, "Modelling of urban thermal conditions using ENVI-met: a case study for Freiburg, Germany," *Urban Climate*, vol. 10, pp. 10–20, 2014.
- [10] X. Oregi, M. Arbulu, "Integration of ENVI-met software as a measurement tool in the urban medium conditions subject", *INTED2025 Proceedings*, pp. 2565-2570, 2025.