



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Estrategias de intervención para el control del clima urbano: Integración de soluciones basadas en la naturaleza en el barrio histórico-patrimonial "El Almendral" de Valparaíso

Nombre del candidato(a): Pamela Alejandra Muñoz Ossandón

Carrera / Grado: Magíster en Rehabilitación Arquitectónica Sostenible

Campus: Casa Central Valparaíso ; **Departamento:** Arquitectura

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Massimo Palme, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 30-09-25

; Firma:

Massimo Palme

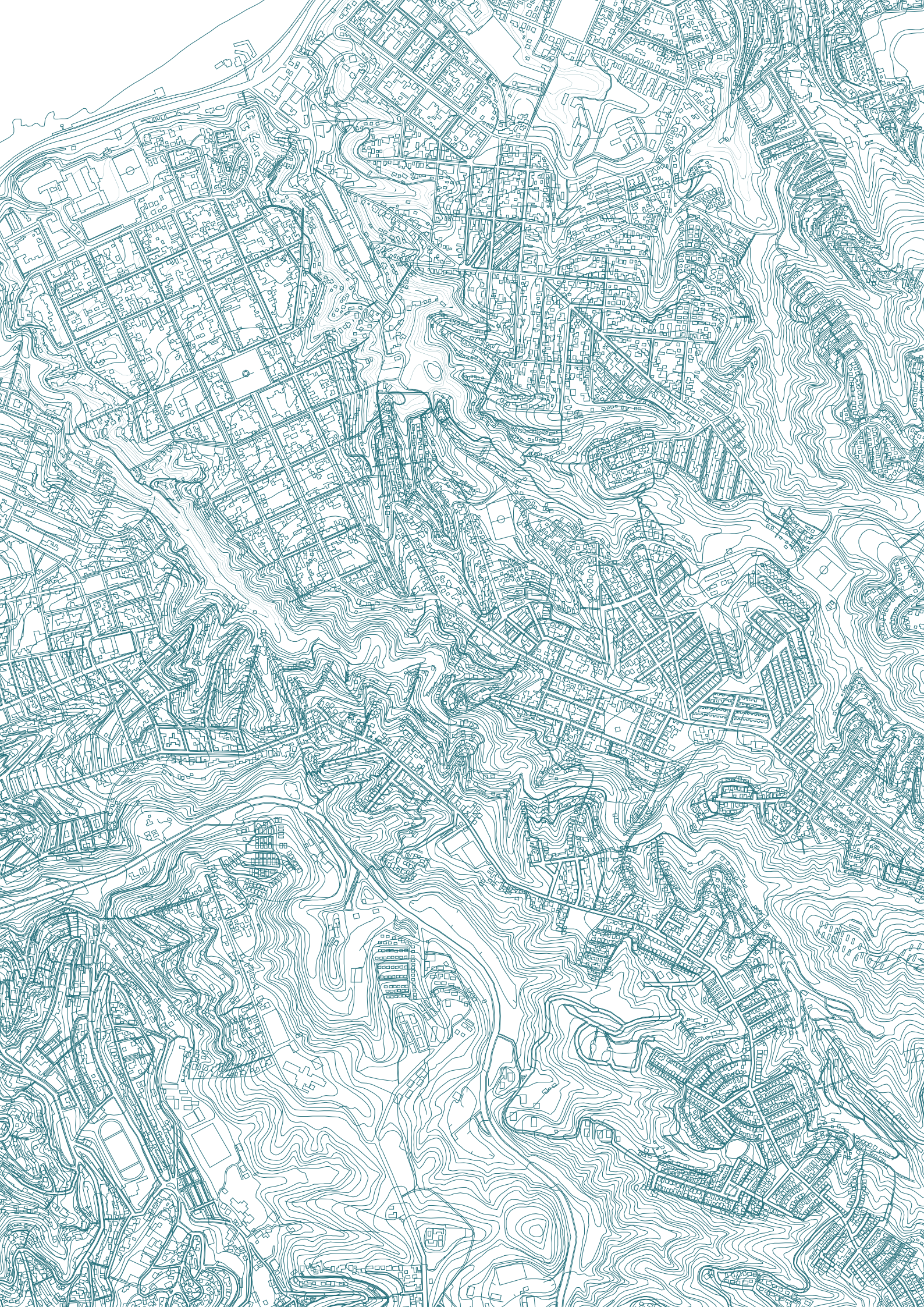
Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30-09-25

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.





Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Arquitectura | Magíster en Rehabilitación
Arquitectónica Sostenible
Valparaíso, Chile



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



**Estrategias de intervención para el control del
clima urbano:
Integración de soluciones basadas en la naturaleza en el
barrio histórico-patrimonial "El Almendral" de Valparaíso**

Pamela Alejandra Muñoz Ossandón

Tesis para optar al grado de
Magíster en Rehabilitación Arquitectónica Sostenible

Profesor guía
Massimo Plame

2025



Dedico este trabajo a quien ha sido desde el primer instante mi apoyo incondicional, quien me ha enseñado de ciencia y de la vida, quien siempre me ha cuidado y protegido, quien me ha inspirado a tratar de ser la mejor versión de mí que puedo ser. Dedico este trabajo a mi hermana, gracias por ser mi constante compañía en la vida.



Agradecimientos

Agradezco profundamente a cada uno de los profesores que conocí durante mis estudios, todas las horas dedicadas en nuestra formación, traté siempre dentro de lo que pude, aprovechar cada instante con ustedes para aprender todo lo que humanamente pude. En especial, quisiera agradecer a los profesores que me acompañaron mis primeros años en la escuela, sé que enseñarme no siempre fue una misión fácil y sin duda fue un largo camino para entender, mejorar y avanzar.

Mi más sincera gratitud al equipo de RILARQ, quienes me recibieron con gran amabilidad y disposición cada vez que requería algún equipo o instrumento.

Agradezco a la profesora Amaya por tomarse el tiempo de salir de sus quehaceres una tarde de Diciembre para ayudarme a conseguir el instrumento de medición que necesitaba para mi investigación.

Si bien fue posiblemente el último profesor que conocí en mi paso por la universidad, sin duda quien ha tenido un mayor impacto en mí es el profesor Massimo Palme, quien ha sido el mejor mentor que pude desear, sin quien jamás podría haber imaginado lograr lo que he hecho durante estos últimos años, quien me ha impulsado a continuar mi desarrollo en investigación, a trabajar por tener un futuro en ello.

Y más importante aún, agradezco a mi familia, quienes me han acompañado y apoyado incansablemente en este largo proceso universitario.



Resumen

En el contexto actual de cambio global, y en particular del cambio climático, la mitigación de sus efectos es un tema central que debemos resolver como sociedad. El estudio exhaustivo de distintas estrategias de intervención es fundamental, no solo para conocer y aplicar soluciones viables e innovadoras, sino también para identificar aquellas más adecuadas según el contexto específico, en este sentido, la exploración de nuevos enfoques resulta esencial para la implementación de intervenciones efectivas que contribuyan al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Uno de los ámbitos con mayor potencial para avanzar en esta dirección son las intervenciones en el patrimonio construido, una línea de investigación que ha comenzado a explorarse recientemente y cuya intersección entre sostenibilidad y conservación patrimonial aún se encuentra en una etapa temprana. En este contexto, se vuelve urgente replantear las estrategias de adaptación y recuperación del entorno construido, integrando criterios que no solo respondan a los desafíos ambientales, sino que también respeten los principios de conservación histórica y patrimonial.

Esta investigación se centra en un sector del barrio "El Almendral" de Valparaíso, dentro de dos zonas de conservación histórica de la ciudad. Se analizan tanto las edificaciones patrimoniales como el espacio público, con el objetivo de proponer estrategias de intervención que integren soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para la climatización urbana y la valorización del patrimonio arquitectónico. Estas propuestas consideran la normativa local e internacional de conservación y son evaluadas mediante modelos simulados mediante el software ENVI-met. Se estudia la factibilidad técnica y los beneficios de cada estrategia, mediante el gran espectro de información climática entregada a partir de las simulaciones y extensiva revisión bibliográfica, con especial énfasis en índices de temperatura y confort. Esta información es luego analizada bajo un estudio comparativo para lograr identificar la alternativa más efectiva, respecto a la situación original, para responder a los efectos de la Isla de Calor Urbano (ICU) en el microclima. Los hallazgos de esta investigación brindan información valiosa para la formulación de nuevas políticas públicas y recomendaciones orientadas a mitigar los efectos del cambio climático en los microclimas urbanos y adaptar el entorno construido para alcanzar ciudades resilientes.

Conceptos clave: microclima urbano, estrategias de mitigación, estrategias basadas en la naturaleza, ENVI-met, zonas históricas, patrimonio construido.



VIÑA DEL
Av. ESP

PUERTO
Av. ERRÁZURIZ

Abstract

In the current context of global change, and in particular climate change, the mitigation of its effects is a central issue that we must solve as a society. The exhaustive study of different intervention strategies is essential, not only to know and apply viable and innovative solutions, but also to identify those most appropriate according to the specific context, in this sense, the exploration of new approaches is essential for the implementation of effective interventions that contribute to the fulfillment of the sustainable development goals. One of the areas with the greatest potential to move in this direction is interventions in built heritage, a line of research that has recently begun to be explored and whose intersection between sustainability and heritage conservation is still at an early stage. In this context, it becomes urgent to rethink strategies for adaptation and recovery of the built environment, integrating criteria that not only respond to environmental challenges, but also respect the principles of historical and heritage conservation.

This research focuses on a sector of the "El Almendral" neighborhood of Valparaíso, within two historical conservation zones of the city. Both heritage buildings and public space are analysed, with the aim of proposing intervention strategies that integrate nature-based solutions (NBS) for urban air conditioning and the enhancement of architectural heritage. These proposals consider local and international conservation regulations and are evaluated using models simulated using ENVI-met software. The technical feasibility and benefits of each strategy are studied, through the wide spectrum of climatic information provided from the simulations and extensive bibliographic review, with special emphasis on temperature and comfort indices. This information is then analyzed under a comparative study to identify the most effective alternative, with respect to the original situation, to respond to the effects of the Urban Heat Island (UHI) on the microclimate. The findings of this research provide valuable information for the formulation of new public policies and recommendations aimed at mitigating the effects of climate change on urban microclimates and adapting the built environment to achieve resilient cities.

Key concepts: urban microclimate, mitigation strategies, nature-based strategies, ENVI-met, historic areas, built heritage.



Índice de contenidos

1.	Introducción	10
1.1.	Motivación y alcances	10
1.2.	Antecedentes de la problemática.....	10
1.3.	Relevancia de la investigación	12
1.4.	Objetivos de la investigación	13
1.5.	Metodología.....	13
2.	Marco teórico	20
2.1.	Contexto histórico del barrio El Almendral.....	20
2.2.	Intervenciones en edificaciones históricas.....	25
2.3.	Condiciones climáticas de la ciudad de Valparaíso	30
2.4.	Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)	34
3.	Definición de zona de estudio	44
3.1.	Criterios de selección y parámetros de estudio	44
3.2.	Caracterización de la zona de estudio.....	47
4.	Propuestas de intervención	70
4.1.	Definición de las estrategias de intervención.....	70
4.2.	Definición de las variables de estudio	72
4.3.	Metodología para el análisis del clima urbano.....	75
4.4.	Simulación climática en ENVI-met.....	77
5.	Discusión de resultados	82
5.1.	Máximo efecto en la variación de temperatura	82
5.2.	Rango de efecto en la variación de temperatura.....	89
5.3.	Índices de confort térmico.....	90
5.4.	Jerarquización de las variables	98
5.5.	Futuros estudios.....	104
6.	Conclusiones	108
Anexos		116

1. Introducción

1.1. Motivación y alcances

Esta investigación planteará estrategias de intervención para el control del clima urbano, mediante la integración de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) en edificios históricos y espacios públicos en la zona de estudio seleccionada, levantando información en terreno para el análisis de los resultados de estas propuestas y su factibilidad técnica, considerando la normativa vigente y las recomendaciones nacionales e internacionales para la conservación de edificios históricos. Esta investigación no contempla la ejecución de las propuestas presentadas y consecuentemente no considera el estudio en terreno de su ejecución, solo análisis a nivel teórico mediante modelación digital de las propuestas.

1.2. Antecedentes de la problemática

Uno de los temas más predominantes de esta época es la mitigación del cambio climático y sus efectos. Con el fin de trabajar para lograr un desarrollo sostenible a nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha planteado una serie de objetivos con sus respectivos lineamientos, los cuales deberán ser cumplidos para 2030. Si bien han existido avances importantes, aún estamos lejos de cumplir los objetivos deseados como sociedad. Estudios publicados en el contexto de la conferencia de la ONU sobre el clima, COP27, señalan que la industria de la construcción es responsable por más del 34% de la demanda energética y del 37% de las emisiones de CO₂ correspondientes al año 2021 (Fusha, 2022).

Al hablar de desarrollo sostenible, es fundamental, primero que todo, entender el concepto “sostenible”. La definición más clásica señala que los recursos utilizados hoy en día para satisfacer las necesidades de la sociedad actual deben existir o poder ser recuperados para satisfacer las necesidades de las sociedades futuras. A este enfoque, el cual es permisivo con la sustitución de un bien o un recurso por otro, se le conoce

como sostenibilidad débil. Por otra parte, la sostenibilidad fuerte plantea que dicha sustitución no es equivalente, pues se pierden valores intrínsecamente asociados a estos recursos. Esta postura ha surgido principalmente desde grupos de biólogos y ecologistas, quienes enfatizan una valorización más holística de los recursos naturales (Gómez Rodríguez, 2021).

Teniendo en cuenta este contexto, el surgimiento de la integración de estrategias para la mitigación del clima urbano en la rehabilitación y restauración de edificios históricos es fundamental para lograr los objetivos de desarrollo sostenible.

1.2.1. Modificaciones en edificios históricos

Realizar intervenciones en edificios históricos o, más aún, en edificios patrimoniales, viene acompañado de variadas restricciones y requerimientos especiales; sin embargo, esto no ha de desmotivar la misión de mejorar estos edificios en su impacto al clima urbano. Los beneficios de la integración de nuevas tecnologías o materiales no se limitan necesariamente a mejoras en el comportamiento energético del edificio; estos cambios sin duda tendrán un efecto positivo en el confort higrotérmico. A su vez, estas intervenciones pueden vincularse no solo a la reparación de daño causado por diversas patologías, sino que también pueden aportar en la mitigación de las causas de estas.

En cuanto a la posibilidad práctica de las intervenciones permitidas, va a depender en gran medida de las normativas y del cuerpo administrativo de cada país que esté encargado de la supervisión y tramitación de los permisos de construcción. A pesar de esto, documentos, guías y recomendaciones de organizaciones internacionales como el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) o la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) son de gran relevancia al definir el límite de las intervenciones permitidas. Es justamente de un documento adoptado por ICOMOS de donde se desprende uno de los principios fundamentales al enfrentar intervenciones en edificios históricos: *debe poder diferenciarse inequívocamente la obra original de la intervención*. Específicamente, el artículo 12 de la carta de Venecia señala que *“los elementos destinados a reemplazar las partes inexistentes deben integrarse armoniosamente en el*

conjunto, distinguiéndose claramente de las originales, a fin de que la restauración no falsifique el documento artístico o histórico” (Asamblea General de ICOMOS, 1964). Si bien este no es el único principio que habla de intervenciones en edificios históricos, ni siquiera en el mismo documento, este artículo nos muestra la posibilidad de realizar cambios sin perjudicar la integridad o autenticidad de la obra arquitectónica. (Yüceer & Ipekoğlu, 2012) proponen un método para la evaluación de la compatibilidad de una adición al edificio histórico existente mediante un enfoque basado en análisis arquitectónico, el cual se descompone en análisis del sitio, análisis de masa (ubicación, configuración, orientación, dimensiones) y un análisis de fachada. Por otra parte, en concordancia con la carta de Venecia, señalan que cualquier adición al edificio debe ser claramente reconocible, pero que a su vez se logre integrar con la construcción original; adicionalmente, establecen que dicha intervención debe ser de carácter reversible (Yüceer & Ipekoğlu, 2012). Las intervenciones en la fachada misma de los edificios suelen ser más estrictas debido a que pueden dañar la integridad del edificio. Akande et al. plantean como posible solución para cambios que requieran de estar conectados al exterior del edificio utilizar la quinta fachada, en otras palabras, el techo del edificio, siempre y cuando este no se vea a nivel de calle, logrando de este modo no afectar la imagen del edificio (Akande et al., 2014).

1.3. Relevancia de la investigación

Debido a que este tipo de intervención aún se encuentra en una etapa de desarrollo temprana en el campo de estudio, la documentación de casos, datos, los resultados obtenidos es de vital importancia para generar nuevas guías para la correcta intervención de edificios históricos.

Si bien implementar cambios en un edificio histórico presenta varios desafíos debido al resguardo que se debe tener para la conservación de sus valores, autenticidad e integridad, estos no son incompatibles con intervenciones bien diseñadas que respeten estas cualidades.

Es fundamental conocer de manera profunda el caso de estudio antes de realizar cualquier intervención; se ha de contar con un

levantamiento de datos mediante distintas herramientas y procesos, incluyendo la utilización de diferentes softwares para modelación, análisis numérico y otros estudios, además de contar con un equipo multidisciplinario para una comprensión integral del caso de estudio.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Plantear estrategias de intervención para el control del clima urbano y la recuperación y puesta en valor de edificios históricos, en el barrio “El Almendral” de Valparaíso, mediante la integración de soluciones basadas en la naturaleza en espacio público y edificios históricos del sector.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer la factibilidad técnica de la realización de este tipo de intervenciones, considerando la normativa vigente y los estándares para la conservación de edificios históricos.
- Cuantificar y comparar los cambios en el confort exterior de las edificaciones al integrar vegetación en las edificaciones.
- Cuantificar y comparar los cambios de temperatura a nivel urbano al integrar soluciones basadas en la naturaleza en la zona de estudio.

1.5. Metodología

Si bien existen distintas posturas y enfoques al momento de abordar el diseño de metodologías para la intervención de edificios históricos, ya sea para mejoras en eficiencia energética u otros objetivos, existe un consenso general sobre la implementación de ciertas etapas. La metodología planteada por García-Fuentes et al. (2016) propone las etapas de

- Evaluación y marco de evaluación
- Trayectoria de investigación y nivel de conocimiento

- Herramientas de END (Ensayos No Destructivos) para el diagnóstico de eficiencia energética

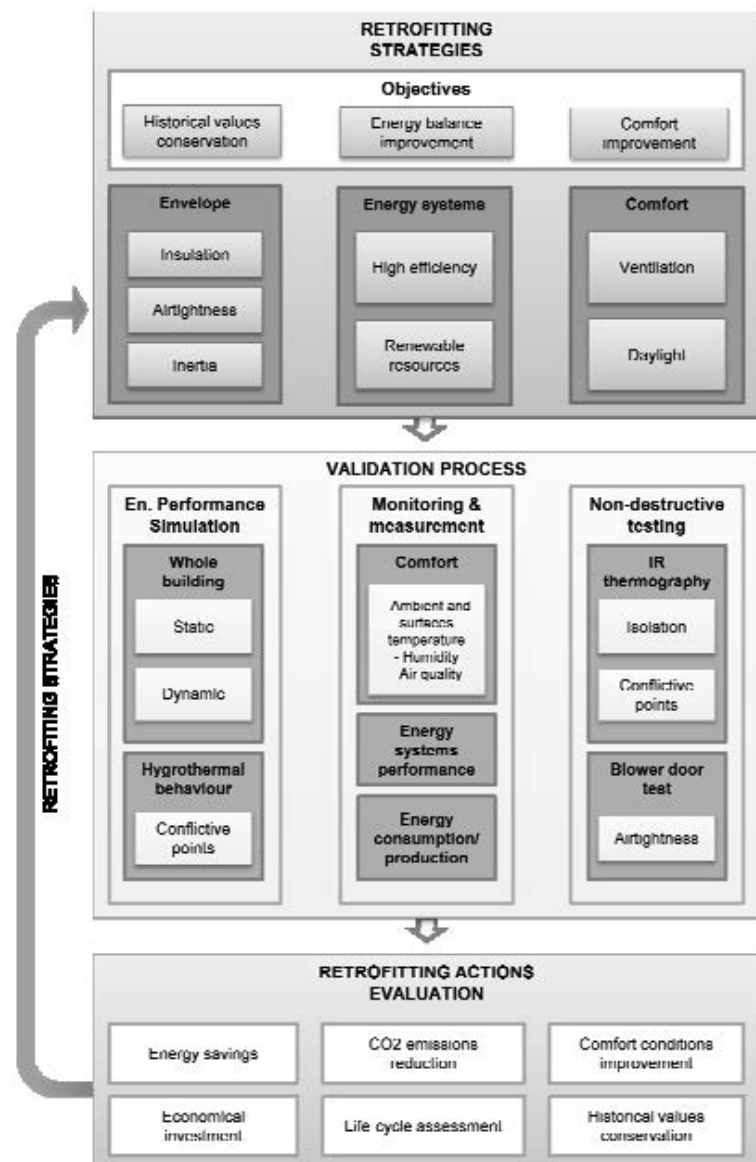


Figura 1: Diagrama de la metodología propuesta por García-Fuentes et al.

Esta propuesta hace énfasis en los estudios no destructivos, logrando realizar una evaluación exhaustiva del caso mediante el uso de herramientas como cámara termográfica, mediciones por sensores de temperatura superficial y del aire, radares para estudiar la composición de los muros y pruebas de ventilador de puerta (García-Fuentes et al., 2016).

Por otra parte, la propuesta metodológica de Fino et al. plantea las etapas de

- Análisis
- Diagnóstico
- Intervención

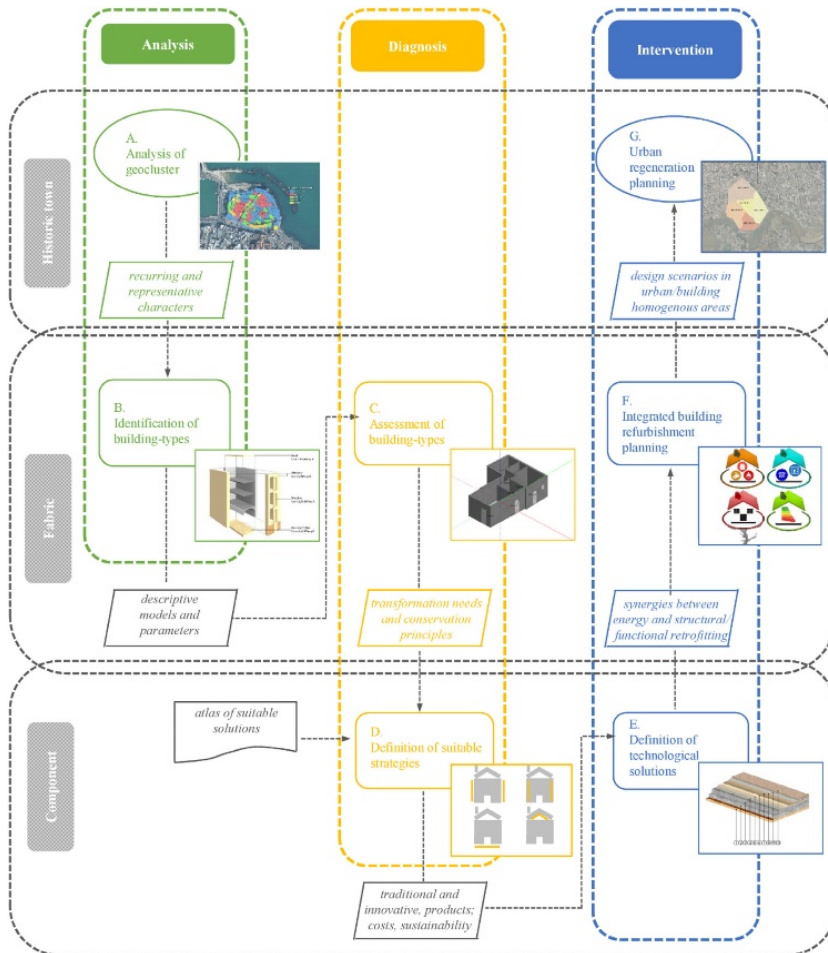


Figura 2: Diagrama de la metodología propuesta por Fino et al.

Estas etapas nacen de la relación del edificio con el sitio, una visión unitaria que considere al edificio como un sistema complejo, un enfoque basado en el desempeño y una aproximación multidisciplinaria del estudio del caso (De Fino et al., 2017).

Si bien estas metodologías abordan la rehabilitación del edificio de distintas maneras, tanto estas como la mayoría de las metodologías al respecto concuerdan en que la primera etapa a desarrollar ha de ser un estudio profundo del caso de estudio, de este modo poder caracterizarlo

para reconocer de manera clara los valores asociados al edificio y poder así respetar la autenticidad e integridad de aquello.

Para la presente investigación se plantea una metodología compuesta por las etapas:

- Levantamiento de información
- Análisis de datos
- Diseño de propuesta de intervención
- Evaluación de intervención
- Análisis de resultados

1.5.1. Levantamiento de información

La etapa de levantamiento de información implicará, en primera instancia, definir los parámetros clave para la investigación. Una vez definidos los temas de interés principal, se procede a realizar la revisión de material bibliográfico, planimetría, fotos y toda información que sea relevante para la completa caracterización del caso de estudio.

Se han de realizar mediciones, de carácter no invasivo, teniendo como objetivo no solo conocer las condiciones ambientales que presenta el inmueble, sino también estudiar las patologías que se puedan encontrar y, de ser posible, la calidad estructural de las edificaciones que forman parte del caso de estudio. Entender no tan solo el edificio, sino también el sector urbano de manera integral, como un complejo sistema multivariable, ayudará a plantear de manera clara y justificada las propuestas de intervenciones.

1.5.2. Análisis de datos

Una vez levantada toda la información necesaria, se deberá continuar con el análisis de los datos encontrados, lo cual dependerá de la naturaleza de los datos recolectados. De manera general, se proponen tres líneas para el análisis de datos: análisis estadístico de los datos reunidos, análisis mediante software de modelación y evaluación, y análisis mediante otros criterios según corresponda.

1.5.3. Diseño de propuestas de intervención

Una vez analizadas todas las variables correspondientes, se han de diseñar las propuestas de intervención, las cuales deben responder no solo a las necesidades encontradas, sino también a las restricciones que presentan, ya sea debido al marco normativo al cual debe responder, a las restricciones relacionadas con la capacidad estructural de las edificaciones en cuestión. En otras palabras, se ha de considerar la factibilidad técnica de la intervención en relación con el caso de estudio.

1.5.4. Evaluación de intervenciones

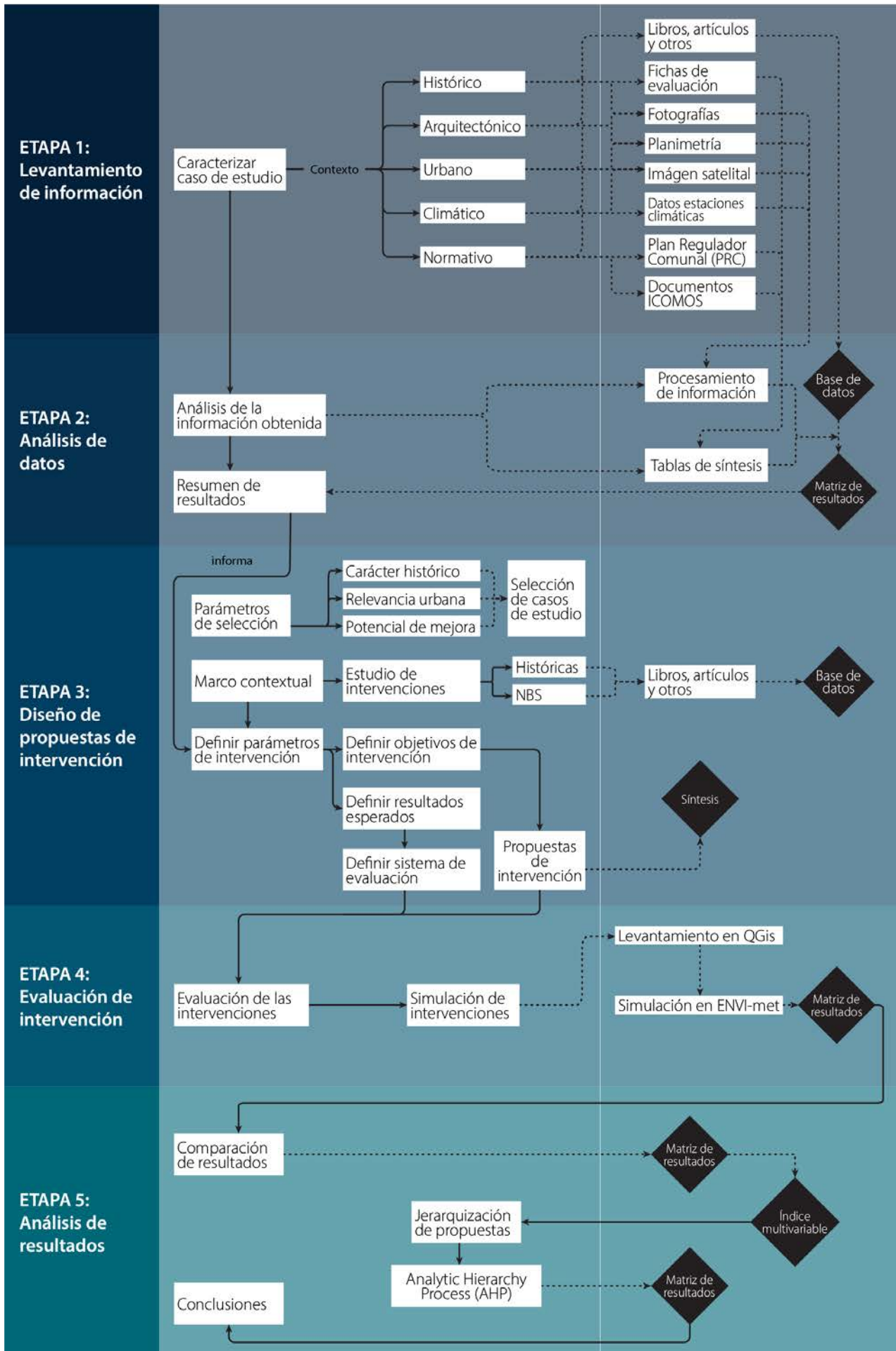
Una vez determinadas las propuestas de intervención, se procede a estudiar el comportamiento de cada una de estas. Las propuestas de intervención serán analizadas mediante el software de simulación climática ENVI-met; los resultados obtenidos serán comparados para identificar la factibilidad y los beneficios de las propuestas.

1.5.5. Análisis de resultados

Luego de obtener los resultados mediante el análisis por software, se procede a evaluar cada propuesta para la mejora del clima urbano, teniendo en cuenta la factibilidad técnica de cada una de estas. Se deberá realizar una jerarquización de las propuestas de intervención, para lo cual se utilizará el índice “Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”, para evaluar la potencial mejora brindada por cada una de estas estrategias.

Metodología

Métodos



2. Marco teórico

2.1. Contexto histórico del barrio El Almendral

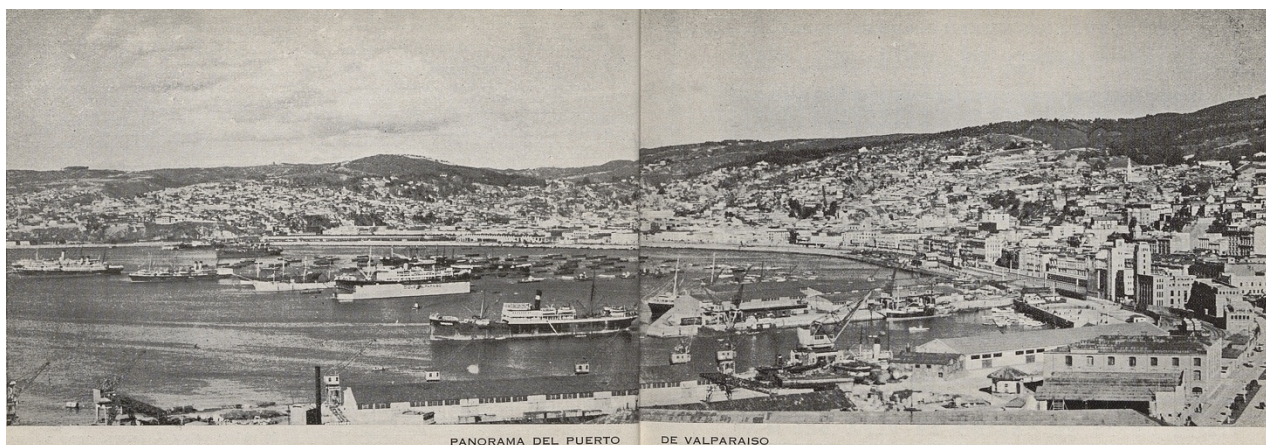


Figura 3: Panorámica del puerto de Valparaíso, 1938 . Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-588663.html> .



Figura 4: Olds, Harry Grant, 1869-1943. Plaza Echaurren, 1900. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile.



Figura 5: Leblanc, Félix. Plaza de la Intendencia, actual Plaza Sotomayor de Valparaíso, hacia 1890. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile.



Figura 6: Olds, Harry Grant, 1869-1943. Plaza Aníbal Pinto, hacia 1900. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile.

La historia de la ciudad de Valparaíso es única desde su concepción, partiendo con el hecho extensamente establecido de que nunca fue fundada, sino que su rol surge meramente como un puerto del reino de Chile, así iniciando a formar su identidad como ciudad-puerto (Sánchez et al., 2009).

Al momento en que el capitán Juan de Saavedra, bajo el mando de Diego de Almagro, se encontrara con este territorio en 1536, el valle situado en la caleta Quintil era hogar de un grupo de uno de los pueblos originarios, los changos, quienes denominaban a este territorio como Alimapu, cuya traducción aproximada sería “país abrigado”. Registros de la época sugieren que la vegetación nativa de la zona constaba de quillayes, boldos, palmas reales, canelos, maitenes, culen, bellotas, peumos y litre (Ugarte Yávar, 1910).

Es en la zona del puerto donde los primeros asentamientos de lo que llegaría a ser la ciudad de Valparaíso se establecen. Es importante recordar que gran parte de lo que hoy se conoce como el “plan” de la ciudad era originalmente parte de la bahía, por lo que el tránsito entre la zona del barrio “Puerto” y del barrio de “el Almendral” en sus inicios se realizaba mediante un recorrido a pie por los cerros (Carrasco, 2016).

Estrategias de intervención para el control del clima urbano

Figura 7: Plan of Valparaíso [material cartográfico] U.S.N. Astril Expdn. Mapoteca... Disponible en Biblioteca Nacional Digital de Chile:
<https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/631/w3-article-311721.html>.



Figura 8: Plano de Valparaíso, 1895. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile:
<https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-68087.html>.

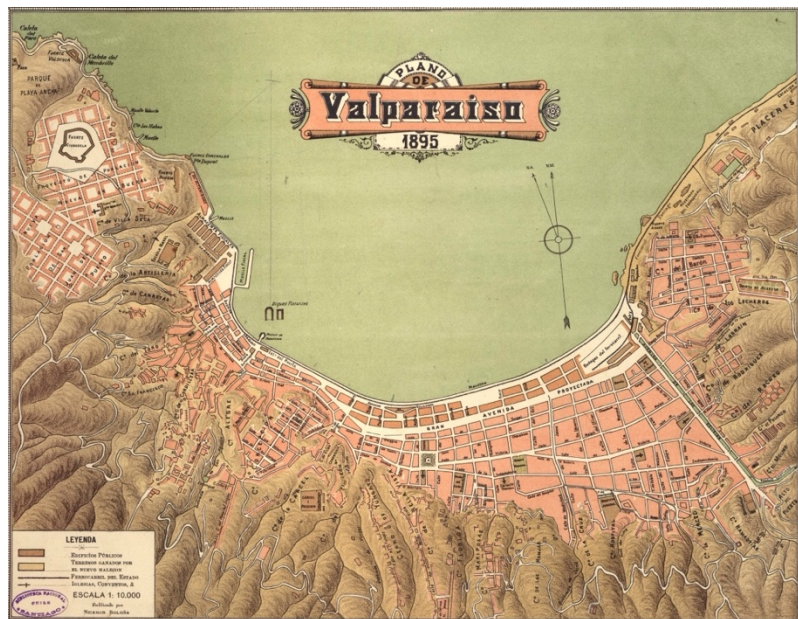


Figura 9: Plano de Valparaíso [material cartográfico] por Carlos Tornero. Mapoteca. Disponible en Biblioteca Nacional Digital de Chile:
<https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/631/w3-article-155210.html>.





Figura 10: Leblanc, Félix. Parque Municipal, hacia 1890. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile.



Figura 11: Estero Las Delicias, actual avenida Argentina de Valparaíso, c. 1890. Disponible en Fotos históricas de Chile (comunidad en Facebook).



Figura 12: Olds, Harry Grant, 1869-1943. Avenida Brasil, hacia 1900. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile.



Figura 13: Brandt, Carlos. Valparaíso, Estero - Delicias [fotografía] Carlos Brandt. Archivo fotográfico. Disponible en Biblioteca Nacional Digital de Chile.



Figura 14: Vista general de Valparaíso, 1872. Disponible en Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile: <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-100190.html>.

Gran parte de “el Almendral” fue inicialmente una playa, reformándose gradualmente mediante un proceso de relleno (Sánchez et al., 2009) hasta convertirse en uno de los barrios más importantes de la ciudad. Hacia 1708, el sector de “el Almendral” se describía como: “[...] entre los dos esteros, el uno que está a la parte del oriente (el de las Delicias), que yendo de esta ciudad a dicho puerto, baja a la playa del Almendral, que llaman el agua del Salto, y entre el otro estero (el de Jaime), que está a la parte del poniente del dicho camino” (Vicuña Mackenna, 1936).

Hasta el día de hoy, uno de los sectores más importantes de “el Almendral” y de la ciudad, es el eje Avenida Argentina, previamente conocido como “Avenida de las Delicias”, que recibía su nombre del estero que la recorría en su centro, dividiendo la avenida en dos (Ugarte Yávar, 1910), rodeada de una arboleda planteada en 1834 (ver Figura 13 y).

El terremoto de 1906 causó daños devastadores en toda la ciudad, y el barrio “El Almendral” ciertamente no estuvo exento de esto, reduciendo gran parte del sector a escombros. En diciembre del mismo año, el gobierno dicta una ley, ordenando la reconstrucción del barrio, mediante la expropiación total, para transformarlo en “una población cómoda, higiénica y bien delineada” (UgarteYávar, 1910). Uno de los cambios posteriores a esta etapa fue la transformación del estero “Las Delicias” en un cauce abovedado, convirtiendo la alameda en un gran paseo. Este cambio estuvo influenciado por los problemas recurrentes que se presentaban durante las épocas lluviosas, principalmente el

anegamiento de edificios, además de que mejorar las condiciones de salubridad de la ciudad fue un eje central dentro de la agenda de reconstrucción de esta época, después de haberse visto afectada por diversos tipos de epidemias en los últimos años.

Durante el siglo XIX, y continuando hasta el siglo XX, la mantención, mejoras y expansión del espacio público fueron temas protagónicos del desarrollo de la ciudad. En una ciudad con una topografía tan compleja como lo es Valparaíso, los patios, los jardines y, en general, los espacios verdes han sido consistentemente escasos, en lo cual recae su gran importancia. En la monografía histórica “Valparaíso 1536-1986”, en su capítulo “Plazas y parques de Valparaíso: transformaciones en el micro paisaje urbano”, se cita a un periodista de la época, el cual señala: *“Una vara de terreno es para Valparaíso un hallazgo, una calle que se abre es una riqueza, una plaza significa diez veces una calle, es un territorio descubierto, un continente encontrado en medio de una ciudad”.* (Mendez B., 1987)



Figura 15: El Estero de Las Delicias (1905) Actual Avenida Argentina. Disponible en valpoantiguo (Valparaíso: Memoria Histórica Fotográfica) <https://www.instagram.com/valpoantiguo/p/CmZ8waNuAyK/>.

2.2. Intervenciones en edificaciones históricas

Desde hace un tiempo existe una discusión abierta entre expertos sobre el enfoque adecuado de las intervenciones patrimoniales, siendo la forma más clásica centrarse en una conservación inmóvil para mantener intacta la naturaleza de un monumento, mientras que los enfoques más nuevos se alejan de esto, buscando mejoras que a su vez puedan aportar un nuevo valor a un antiguo bien en el tejido urbano. Aunque las ideas sobre cómo implementar cambios en el patrimonio construido pueden diferir entre sí, existen varios documentos de organizaciones como ICOMOS o UNESCO, entre otras, que sirven como pautas sobre cómo llevar a cabo las intervenciones, pero antes de comenzar a examinar esto, es imperativo comprender el edificio lo más a fondo posible. Evaluando su estado actual, es decir, su integridad estructural, las patologías que pueda presentar y, quizás más importante, identificar los valores que presenta que le otorgan su estatus patrimonial para protegerlos y resaltar a lo largo del proceso de intervención, de manera así establecer las restricciones y requisitos para poder realizar las alteraciones necesarias (Santi & Battini, 2019).

A la hora de plantear estrategias de intervención, uno de los principales documentos sobre la restauración y conservación del patrimonio es la Carta de Venecia adoptada por ICOMOS, de la que se desprende uno de los principios fundamentales a la hora de afrontar intervenciones en edificios históricos, que establece que debe ser posible diferenciar inequívocamente la obra original de la intervención, en concreto, el artículo 12, ya mencionado. Otros documentos recibidos por ICOMOS de especial relevancia para la intervención de áreas y edificios patrimoniales son los elaborados en Quito en 1967 sobre el uso de sitios y monumentos de valor artístico e histórico (ICOMOS, 1967) y en Brasil en 1987 sobre la conservación de centros históricos (ICOMOS Brazilian Committee, 1987). Tal y como establece la carta de Venecia, cualquier adición al edificio debe ser claramente reconocible, pero que a su vez debe estar integrada con la construcción original; adicionalmente, establecen que dicha intervención debe ser reversible (Yüceer & Ipekoğlu, 2012).

Si bien la implementación de cambios en un edificio patrimonial presenta varios desafíos debido a las salvaguardas que deben

Zona ZCH Almendral - Victoria (ZCHAL-V)

Tabla 1: Normativa regente para ZHCAL-V.

Ubicación	Corresponde a las áreas que se consolidan como barrios residenciales entre 1730 y 1890, entre la Plaza del Orden (hoy Aníbal Pinto) y las calles que surgen de ella y continúan por el Almendral con la calle Ancha (hoy Victoria) y el pie de cerro, hasta colindar con la Zona ZCHLF por el oriente y la Zona ZCHP por el poniente.	
Condiciones de uso del suelo	Usos permitidos	Vivienda; comercio; oficinas; áreas verdes, vialidad; equipamiento de educación, culto, cultura, salud, seguridad, organizaciones comunitarias, deportes, esparcimientos, turismo, bombas de bencina, edificios de estacionamientos, servicios públicos, servicios profesionales, servicios artesanales, incluyendo garajes y talleres de reparación de vehículos, industrias y bodegas inofensivas. Estos tres últimos usos solo se permitirán cuando cuenten con local comercial con frente a la calle detrás de mamparas y/o vidrieras.
	Usos no permitidos	Todos los no indicados precedentemente.
Condiciones de subdivisión y edificación	Superficie predial mínima	350 m ² , con frente de 12 m.
	Ocupación máxima del suelo	100%
	Sistema de agrupamiento	Continuo y continuo retranqueado. No se permite edificación aislada sobre la continuidad. Las alturas máximas de la edificación serán determinadas por las áreas V que se indican en plano y se describen en el cuadro del artículo 18°.

Zona ZCH Almendral - Brasil (ZCHAL-B)

Tabla 2: Normativa regente para ZHCHAL-B.

Ubicación	Corresponde a las áreas consolidadas a partir de 1890 hasta 1930 con sus trazados urbanos monumentales de grandes avenidas en terrenos ganados al mar, colindante por el Sur con la anterior y por el Norte con la vía férrea, hasta colindar con la Zona ZCHLF por el Oriente y la Zona ZCHP por el Poniente.	
Condiciones de uso del suelo	Usos permitidos	Vivienda; comercio; oficinas; áreas verdes; vialidad; equipamiento de educación, culto, cultura, salud, seguridad, organizaciones comunitarias, deportes, esparcimiento, turismo, bombas de bencina, edificios de estacionamientos siempre que no sea en primer piso con frente a la calle, servicios públicos, servicios profesionales, servicios artesanales, incluyendo garajes y talleres de reparación de vehículos, industrias y bodegas inofensivas. Estos tres últimos usos solo se permitirán cuando cuenten con local comercial con frente a la calle detrás de mamparas y/o vidrieras.
	Usos no permitidos	Todos los no indicados precedente y específicamente: equipamiento de actividad comercial y servicios artesanales en espacios abiertos y terminales de buses.
Condiciones de subdivisión y edificación:	Superficie predial mínima	480 m ² , con frente mínimo de 15 m.
	Ocupación máxima del suelo	100%
	Sistema de agrupamiento	Continuo y continuo retranqueado. Se permite edificación aislada sobre la continuidad. Las alturas máximas de la edificación y los distanciamientos serán determinados por áreas V, que se indican en plano y describen en el cuadro del artículo 18°.

2.2.2. Estándares internacionales para la intervención de edificios históricos-patrimoniales

En cuanto al contexto internacional, se encontraron tres documentos de ICOMOS que abordan directamente las intervenciones en el patrimonio construidos, dando señales de la posibilidad de esto y de los cuidados y precauciones que se debe tener al momento de contemplar cambios de este tipo, los documentos en cuestión son: la *“Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (carta de Venecia 1964)”* (Tabla 3), el *“Primer Seminario Brasileño sobre Preservación y Revitalización de Centros Históricos (ICOMOS Brasil)”* (Tabla 4) , y el *“Informe Final de la Reunión sobre Conservación y*

Aprovechamiento de Monumentos y Sitios de Valor Artístico e Histórico celebrada en Quito, 1967" (Tabla 5).

Tabla 3: Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (carta de Venecia 1964) (ICOMOS) (Asamblea General de ICOMOS, 1964)

Restauración	
Artículo 12.	Los elementos destinados a reemplazar las partes inexistentes deben integrarse armoniosamente en el conjunto, distinguiéndose claramente de las originales, a fin de que la restauración no falsifique el documento artístico o histórico.
Lugares monumentales (conjuntos histórico-artísticos)	
Artículo 14.	Los lugares monumentales deben ser objeto de atenciones especiales a fin de salvaguardar su integridad y de asegurar su saneamiento, su tratamiento y su realce. Los trabajos de conservación y de restauración que en ellos sean ejecutados deben inspirarse en los principios enunciados en los artículos precedentes.

Tabla 4: Primer Seminario Brasileño sobre Preservación y Revitalización de Centros Históricos (ICOMOS Brasil), 1987 (ICOMOS Brazilian Committee, 1987)

I	Los sitios históricos urbanos pueden ser considerados como aquellos espacios donde se concentran múltiples evidencias de la producción cultural de la ciudad. Deben circunscribirse más en términos de su valor operativo como "áreas críticas" que, en oposición a los lugares no históricos de la ciudad, ya que la ciudad en su totalidad es una entidad histórica.
II	Los sitios históricos urbanos son parte de una totalidad más amplia, que comprende el entorno natural y construido y también la experiencia de vida cotidiana de sus habitantes. Dentro de este espacio más amplio, enriquecido con valores de origen remoto o reciente y en permanente proceso dinámico de sucesivas transformaciones, los nuevos espacios urbanos pueden ser considerados como evidencias ambientales en sus etapas formativas.
III	Como expresión cultural socialmente producida, la ciudad suma más que resta. El espacio construido, por tanto, es el resultado físico de un proceso productivo social. No se justifica su reemplazo a menos que se compruebe que se han agotado sus potencialidades socioculturales. Los estándares de evaluación para la conveniencia del reemplazo deben tener en cuenta los costos socioculturales del nuevo entorno.
IV	El objetivo principal de la preservación es el mantenimiento y mejora de los patrones de referencia necesarios para la expresión y consolidación de la ciudadanía. Es a través de la perspectiva de apropiación política del espacio urbano por parte de los ciudadanos que la preservación puede contribuir a mejorar la calidad de vida.
V	Considerando que una de las características de los sitios históricos urbanos es su multiplicidad de funciones, su conservación no debe hacerse a expensas de severas limitaciones de uso, aun cuando los usos permitidos sean del tipo denominado cultural. Deben, en efecto, cobijar necesariamente tanto los universos del trabajo como los de la vida cotidiana, a través de los cuales se manifiestan las expresiones más auténticas de la heterogeneidad y la pluralidad de la sociedad. Frente a esta heterogeneidad, y teniendo en cuenta la evidente escasez de viviendas en Brasil, la vivienda debe ser la función principal del espacio construido. En consecuencia, la permanencia de los residentes y de las

	actividades tradicionales en los sitios históricos urbanos, cuando sea compatible con esos sitios, merece especial atención.
VI	La preservación de los sitios históricos urbanos debe ser uno de los objetivos básicos de la planificación urbana, entendida como un proceso continuo y permanente, sustentado en una adecuada comprensión de aquellos mecanismos que generan e influyen en la formación de estructuras espaciales.
VII	La preservación de los sitios históricos urbanos exige la acción integrada de las entidades federales, estatales y locales, así como la participación de la comunidad interesada en las decisiones de planificación como parte del pleno ejercicio de la ciudadanía. En este sentido, es fundamental favorecer y fomentar mecanismos institucionales que aseguren una gestión democrática de la ciudad a través de una participación fortalecida de los liderazgos civiles.
VIII	Dentro del proceso de preservación de los sitios históricos urbanos y como parte del análisis y evaluación de las condiciones imperantes, los inventarios son herramientas básicas que conducen a un mejor conocimiento de los bienes culturales y naturales. La participación de la comunidad en el inventario es reveladora en cuanto al valor que le da a la propiedad en cuestión y estimula su preocupación por la misma.
IX	La protección jurídica de los sitios históricos urbanos se logrará a través de diferentes procedimientos, como la catalogación, el inventario, las normas urbanísticas, las exenciones e incentivos fiscales, la catalogación de interés cultural y la expropiación.
X	Acompañando a la diversificación de los procedimientos de protección, es fundamental que el valor social de la propiedad urbana prevalezca sobre su valor de mercado.

Tabla 5: Informe Final de la Reunión sobre Conservación y Aprovechamiento de Monumentos y Sitios de Valor Artístico e Histórico celebrada en Quito, 1967. (ICOMOS, 1967)

IX. Instrumentos de mejora	
1.	La adecuada utilización de los monumentos de mayor interés histórico-artístico requiere, en primer lugar, la coordinación de las iniciativas culturales y económicas con la acción turística. Cuanto más armonicen y se relacionen estos intereses convergentes, más satisfactorio será el resultado final.
2.	Esta necesaria coordinación no puede tener lugar a menos que el país de que se trate disponga de las condiciones jurídicas y del instrumento técnico necesarios para ello.
3.	En el marco cultural, son requisitos indispensables para cualquier objetivo oficial de enriquecimiento del patrimonio monumental: una legislación eficaz, una organización técnica y una planificación nacional.
4.	Los proyectos culturales y económicos deben integrarse a nivel nacional como paso previo a cualquier negociación de asistencia o cooperación externa. Esta cooperación, ya sea técnica o financiera, es un complemento del esfuerzo nacional. Corresponde a los gobiernos de los estados miembros tomar la iniciativa; los países tienen la responsabilidad de formular sus proyectos e integrarlos en sus planes generales de desarrollo. Las siguientes medidas y procedimientos están dirigidos a estos fines:

2.3. Condiciones climáticas de la ciudad de Valparaíso

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger (Arnfield, 2023), Valparaíso corresponde a un clima "mediterráneo oceánico" (Csb) (Sarricolea P et al., 2017); este clima se caracteriza por temperaturas

templadas y bajas precipitaciones. De acuerdo con esta clasificación, la temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es menor a 18 °C, pero mayor que -3 °C, la precipitación promedio en el mes más seco del verano es menor a 30 mm e inferior a un tercio del promedio del mes más húmedo del invierno y la temperatura de cada uno de los cuatro meses más cálidos es de 10 °C o más, pero el mes más cálido menos de 22 °C. Esto se puede ver reflejado en el siguiente diagrama psicrométrico generado con los datos climáticos de la ciudad de Valparaíso (ver Figura 18), obtenidos de una de las estaciones climáticas de la zona, además se sobrepone la zonificación bioclimática de Givoni, señalando la zona de confort. A partir de esto, se puede señalar que, si bien para una porción considerable del año el clima de la ciudad está dentro de los parámetros de confort, el clima tiende a ser más frío que esto.



Figura 17: Mapa representativo de los climas de Chile según la clasificación climática de Köppen-Geiger, con detalle del clima de la zona de Valparaíso.

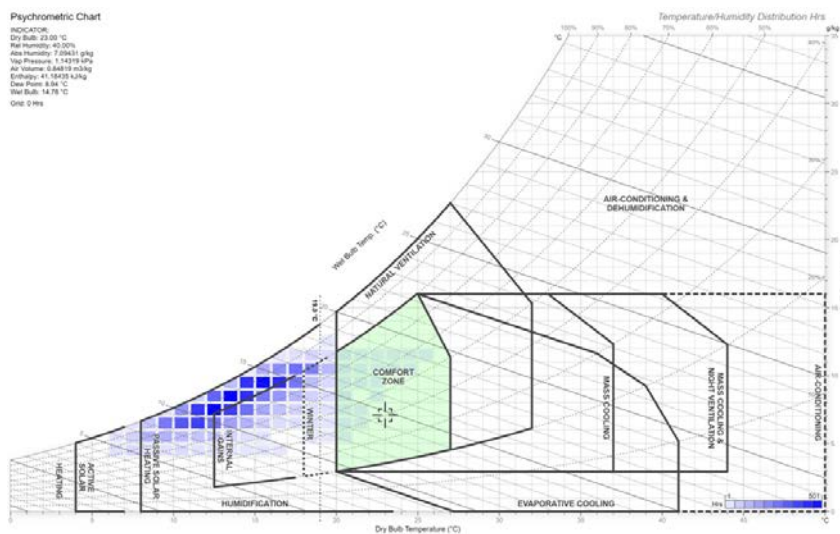


Figura 18: Diagrama psicrométrico del clima de la ciudad de Valparaíso

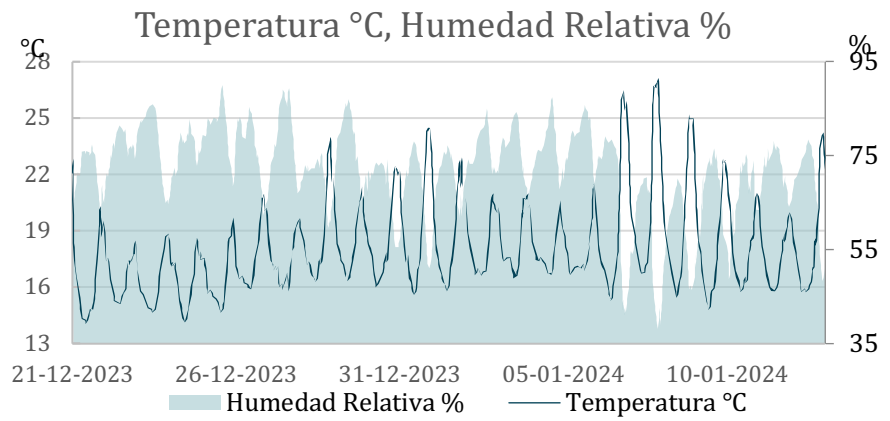


Figura 19: Resumen de las mediciones realizadas cerca del solsticio de verano en 2024.

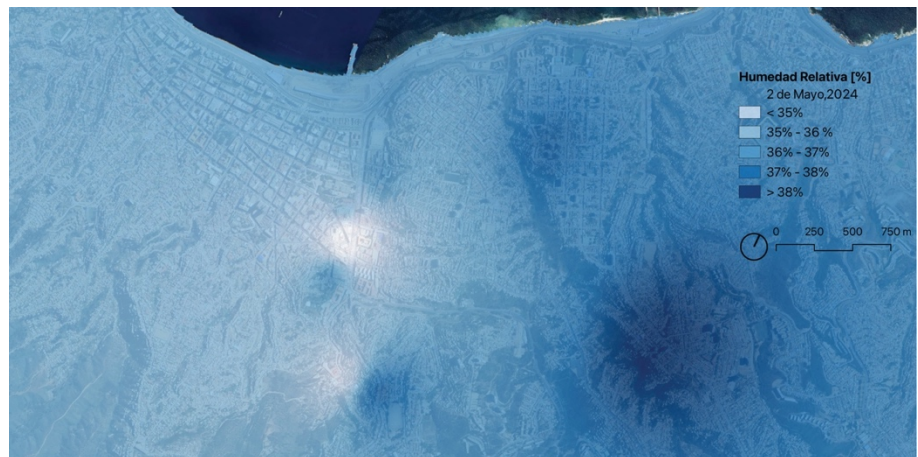


Figura 20: Mapa de distribución de la humedad relativa construido a partir de mediciones puntuales in situ el 2 de mayo de 2024.

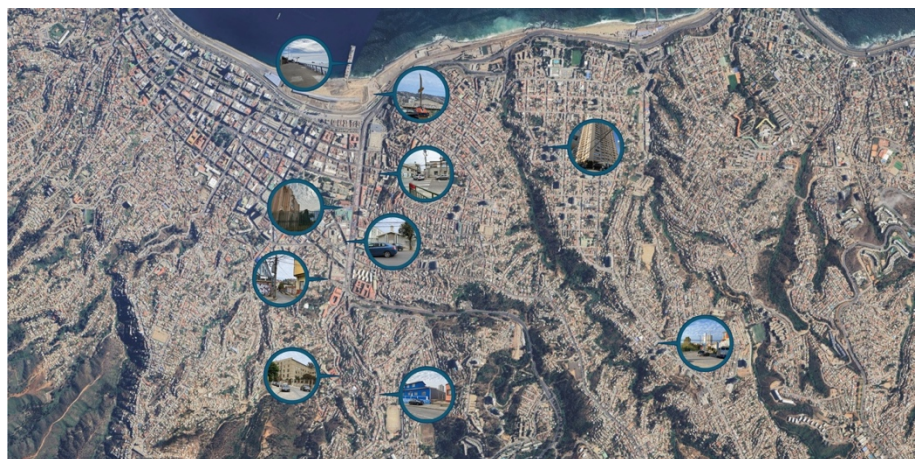


Figura 21: Ubicación de los puntos de medición in situ de la humedad relativa el 2 de mayo de 2024.

Tabla 6: Síntesis de resultados de las mediciones in situ para el eje Av. Argentina - C. Ramaditas.

Eje Avenida Argentina - Cerro Ramaditas							
Lugar	Ubicación	Hora	Temp. [°C]	HR [%]	V. del viento [m/s]	Altura [msnm]	Distancia acumulada [km]
Muelle Barón	33,04117° S 71,60655° W	12:38	18,6°C	36,7%	2	5	0,00
Estación Barón	33,04183° S 71,60575° W	12:48	23,8°C	36,8%	1	10	0,25
Chacabuco	33,04596° S 71,60319° W	13:05	22,3°C	37,3%	0	24	0,77
Pasaje Juana Ross	33,04839° S 71,60397° W	13:13	22,6°C	36,0%	1	19	1,08
Victoria	33,0541° S 71,60309° W	13:21	23,2°C	33,0%	0	18	1,30
Municipalidad	33,05285° S 71,60316° W	13:29	22,0°C	36,9%	0	34	1,57
Fábrica Costa	33,05675° S 71,60050° W	13:37	24,4°C	35,3%	0	64	2,20
Pasaje Solari	33,05767° S 71,59669° W	13:48	20,9°C	37,8%	0	120	2,49

Tabla 7: Síntesis de resultados de las mediciones in situ para el eje Av. Argentina - C. Placeres.

Eje Avenida Argentina - Cerro Placeres							
Lugar	Ubicación	Hora	Temp. [°C]	HR [%]	V. del viento [m/s]	Altura [msnm]	Distancia acumulada [km]
Muelle Barón	33,04117° S 71,60655° W	12:38	18,6°C	36,7%	2	5	0,00
Estación Barón	33,04183° S 71,60575° W	12:48	23,8°C	36,8%	1	10	0,25
Vista Placeres	33,04039° S 71,59309° W	14:38	19,5°C	38%	0,4	95	1,2
Copec Placeres	33,04839° S 71,60397° W	13:13	19,2°C	39,0%	0,6	193	2,66

Además de los datos climáticos disponibles, y con el objetivo de obtener una caracterización lo más precisa posible del clima urbano, se realizaron dos campañas de medición. La primera se llevó a cabo mediante el uso del dispositivo HOBO Data Logger durante un período de tres semanas, próximo al solsticio de verano. Los resultados de esta medición se presentan en la Figura 19, donde se evidencia claramente la relación inversamente proporcional entre la humedad relativa y la temperatura.

La segunda campaña consistió en mediciones puntuales realizadas el 2 de mayo de 2024. Para ello, se empleó un termohigrómetro modelo AN-2030 de Otlek Instrument. Aunque se recopilaban diversos datos (ver Tabla 6 y Tabla 7), el objetivo principal de esta medición fue analizar la variación de los valores de humedad relativa (HR) en función de la distancia desde la costa y la altitud. La Figura 21 muestra los 10 puntos en los que se llevaron a cabo estas mediciones dentro del área de estudio.

A partir de los datos obtenidos, se generó un mapa de humedad relativa (Figura 20) mediante la interpolación de los valores registrados, utilizando el software QGIS. Este mapa no solo refleja la alta humedad inducida por la influencia del océano, sino también su variación conforme aumenta la distancia desde la costa y la altitud en los cerros.

2.4. Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)

Existe una relación inherente entre la arquitectura y la naturaleza desde sus inicios (Pinheiro, 2020), y la clave para desbloquear las soluciones tan necesarias para los problemas actuales que enfrentan las ciudades puede estar en las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) (Majidi et al., 2019). La presencia de vegetación en el contexto urbano se ha relacionado durante mucho tiempo con la mitigación de los aumentos de temperaturas cálidas durante el día e incluso la noche. Los efectos de enfriamiento producidos por los árboles están relacionados con varios factores, como la evapotranspiración, el sombreado directo, la convección del aire, y la reducción de la radiación de onda larga (Palme et al., 2022).

2.4.1. Infraestructura verde

Durante una jornada de verano, al pasear por la ciudad, resulta evidente la diferencia entre caminar bajo la sombra de los árboles y hacerlo directamente bajo la exposición solar. No obstante, no es únicamente la sombra proporcionada por los árboles la que contribuye a la reducción de la temperatura ambiental, sino también la humedad contenida en sus hojas. Por este motivo, es posible experimentar una sensación térmica más baja en parques o plazas en comparación con otras zonas urbanas, debido a la presencia de césped, arbustos y diversas especies vegetales. Además, la tierra, a diferencia del pavimento o el concreto, tiene una capacidad superior para absorber y disipar el calor solar.



Figura 22: Foto del New York High Line. Disponible en <https://www.archdaily.cl/cl/02-20735/new-york-city-high-line-abre-al-publico>.

Existen diversas soluciones para la integración de infraestructura verde, las cuales se pueden clasificar en tres categorías principales: la incorporación de vegetación, que incluye árboles, plantas de menor tamaño, como arbustos, entre otros; la integración de fachadas verdes; y, por último, la incorporación de techos verdes.

En cuanto a las fachadas verdes, se distinguen dos categorías, esto en función de varios factores, como tipo de plantas, elementos de soporte y de riego. La primera de estas categorías se conoce como muros vivos, mientras que a la segunda se le llama simplemente fachadas verdes (Knifka et al., 2023). Los muros vivos son estructuras modulares que integran plantas y, en algunos casos, sustrato, tanto en interiores como en exteriores. Las plantas crecen con poco o ningún sustrato, siendo el agua y los nutrientes suministrados a través de un sistema de riego. En contraste, las fachadas verdes son sistemas de vegetación instalados en la pared exterior de los edificios, donde las plantas trepadoras crecen de manera natural, ya sea directamente en la pared o con el apoyo de un sistema estructural como cuerdas o enrejados. A diferencia de los muros vivos, las plantas en las fachadas verdes se cultivan en el suelo o en jardineras. En términos de eficiencia de recursos y mantenimiento, las fachadas verdes son más sencillas, económicas y escalables, lo que las hace más fáciles de implementar que los muros vivos (Knifka et al., 2023).

Los techos (o cubiertas) verdes con sistemas complejos, a nivel constructivo, están compuestos de varias capas (ver Figura 23); además, es importante considerar el estado de la cubierta, la capacidad de carga que esta posee, su contexto climático y geográfico (Cappello et al., 2022). Dentro de los sistemas de techos verdes, se distinguen dos tipos: la cubierta verde extensiva, que emplea especies vegetales capaces de adaptarse y desarrollarse con un mantenimiento mínimo, adecuado a las condiciones ambientales del lugar; y la cubierta verde intensiva, que también utiliza especies adaptadas al entorno, pero requiere un medio que permita un mantenimiento de alta intensidad, dependiendo de las asociaciones vegetales seleccionadas.

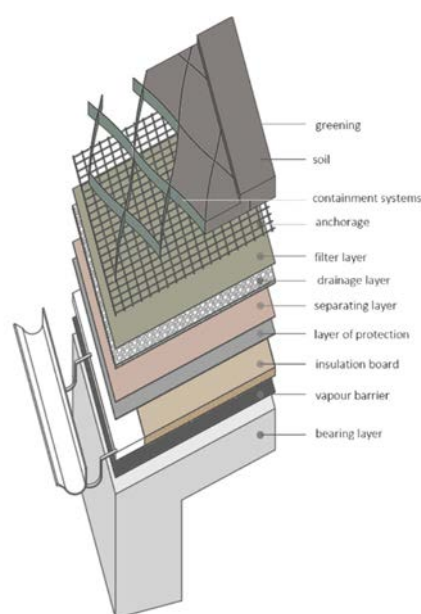


Figura 23: Sistema de estratigrafía de una cubierta verde. Fuente: "Environmental identities and the sustainable city: "The green roof prospect for the ecological transition"

Por otra parte, al integrar techos verdes en edificios preexistentes, es fundamental verificar varios aspectos antes de proceder. En primer lugar, se debe comprobar que la estructura del edificio pueda soportar el incremento de cargas. Además, es necesario asegurarse de que haya espacio suficiente para el aumento del espesor en cubiertas y fachadas, y que la nueva envolvente garantice el rendimiento esperado. También se debe evaluar la viabilidad de eliminar o mitigar los elementos constructivos que puedan obstaculizar la implementación del sistema, así como la posibilidad de instalar la planta de riego del sistema de vegetación en el edificio existente. Por último, las especies vegetales

seleccionadas deben integrarse adecuadamente con el contexto, por lo que su elección debe realizarse con especial cuidado (Santi & Battini, 2019).

2.4.2. Infraestructura azul



Figura 24: Foto del Parque de la ciudad de Bradford en Reino Unido. Disponible en <https://bluehealth.tools/51-2-copy-copy-copy-2-copy-6/>

Al igual que la vegetación, los cuerpos de agua, ya sean naturales como ríos y mares, o artificiales como fuentes, piletas, piscinas, estanques, canales y humedales, contribuyen a la disminución de la temperatura en las áreas circundantes, ofreciendo un alivio térmico en comparación con otras zonas urbanas. Esto se debe a que el agua actúa como un regulador térmico eficiente; al calentarse, se transforma en vapor mediante el proceso de evaporación, liberando energía que gradualmente enfría el ambiente. Las masas de agua participan en este proceso de enfriamiento a través de dos mecanismos principales: evaporación y convección. Durante la evaporación, la energía es extraída de la masa de agua, lo que reduce su temperatura y, en consecuencia, disminuye las temperaturas del aire circundante al direccionarse el flujo de calor sensible hacia el agua. Sin embargo, si el agua está más caliente que el aire, este proceso puede elevar la temperatura del entorno. La contribución de las masas de agua a la mejora del confort térmico exterior es considerable y no debe

subestimarse, ya que, por ejemplo, la evaporación de 2.000 m³ de agua puede reducir la temperatura en 1 Kelvin (Balany et al., 2022).

2.4.3. Reflectividad de las superficies



Figura 25: Calles de Los Ángeles, Estados Unidos, siendo pintadas de blanco. Disponible en <https://www.archdaily.com/893171/los-angeles-is-painting-the-streets-white-again-and-your-city-might-be-next>.

Los rayos solares se reflejan de manera distinta según las propiedades de los materiales; los objetos de color negro absorben más radiación, mientras que los materiales blancos reflejan la totalidad de los rayos solares, manteniéndose más frescos. Este fenómeno se observa en las calles y edificios urbanos, donde materiales como el hormigón, el concreto y el asfalto absorben una gran cantidad de radiación, elevando su temperatura. Para mitigar este efecto, se pueden modificar los materiales utilizados en la construcción o aplicar recubrimientos reflectantes que aumenten su capacidad de reflexión. Sin embargo, el aumento de la vegetación urbana, al reducir el albedo, incrementa los flujos de energía entrantes, lo que puede elevar las temperaturas del aire durante el día. Este cambio, inducido por el albedo de la ecologización urbana, no solo incrementa las temperaturas diurnas, sino que también suprime el enfriamiento nocturno, limitando así el esperado efecto refrescante nocturno. Además, los efectos de calentamiento derivados de la disminución del albedo pueden superar los beneficios de enfriamiento de la evapotranspiración, lo que pone de manifiesto la complejidad de los impactos térmicos asociados con la ecologización urbana (Schlaerth et al., 2023). Por otro lado, el aumento del albedo en las ciudades mediante la

implementación de materiales reflectantes ha mostrado un significativo potencial de enfriamiento. El desarrollo de materiales avanzados, como los recubrimientos reflectantes IR, termocrómicos y fotónicos super fríos, ha permitido reducir las temperaturas superficiales de hasta 10 °C en comparación con materiales convencionales. Los materiales termocrómicos, que cambian de color, pueden mejorar el aislamiento solar en invierno y proporcionar enfriamiento en verano, mientras que los recubrimientos fotónicos y los puntos cuánticos fluorescentes exhiben una alta reflectancia espectral y una emisividad superior en la ventana atmosférica, lo que mejora significativamente el potencial de mitigación del calor urbano. El monitoreo de proyectos urbanos basados en estos materiales ha demostrado que es posible reducir las temperaturas urbanas máximas en hasta 1,5 °C (Mohammed et al., 2021).

2.4.4. Recomendaciones para la integración de soluciones basadas en la naturaleza en el patrimonio construido

La incorporación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en edificios históricos representa un desafío debido a la necesidad de compatibilizar los beneficios ambientales, sociales y energéticos con la preservación de los valores patrimoniales. Para esto se propone una serie de lineamientos para guiar la planificación, diseño, implementación y mantenimiento de estas soluciones en contextos históricos.

Diagnóstico inicial

Un análisis integral previo es esencial. Debe incluir la evaluación estructural del edificio (capacidad de carga, materiales originales, estado de conservación), el análisis microclimático del entorno (temperatura, radiación, viento, humedad) y la identificación de valores patrimoniales (Shehata et al., 2024). Asimismo, resulta fundamental considerar las normativas de conservación y los marcos legales vigentes (Knifka et al., 2023).

Definición de objetivos

Los proyectos deben establecer objetivos claros y jerarquizados, compatibles con la conservación patrimonial; estos pueden ser ambientales (reducción de isla de calor, mejorar la biodiversidad), energéticos (eficiencia y confort térmico) o culturales (revitalización

urbana, valorización del patrimonio) (Coombes & Viles, 2021). La claridad en las metas facilita la selección de tecnologías y especies de vegetación apropiadas.

Diseño de soluciones

Dependiendo de la SbN aplicada en el patrimonio construido, se debe tener en cuenta diferentes análisis y precauciones. A continuación, se presentan algunas guías para abordar esto:

- Cubiertas verdes: requieren un análisis de carga estructural y priorizan el uso de especies nativas.
- Fachadas verdes: Son preferibles los sistemas autoportantes, que no alteran muros históricos (Knifka et al., 2023).
- Soluciones híbridas: Sistemas de drenaje urbano sostenible integrados con edificaciones históricas pueden mejorar la gestión de aguas pluviales sin alterar significativamente la imagen patrimonial (Michalik-Śnieżek et al., 2024).

A nivel general, se puede decir que, el diseño debería ser reversible y visualmente compatible, respetando la integridad patrimonial.

Herramientas metodológicas

El uso de herramientas digitales y de simulación (BIM, ENVI-met, DesignBuilder) permite anticipar impactos y visualizar los posibles resultados de la integración de SbN en edificaciones históricas (Shehata et al., 2024). Estas tecnologías facilitan la toma de decisiones, reducen riesgos y permiten evaluar escenarios alternativos antes de la intervención.

Implementación práctica

La puesta en marcha debe contemplar técnicas constructivas que no comprometan los valores patrimoniales:

- Sistemas de anclaje reversibles.
- Materiales compatibles con la envolvente histórica.
- Soluciones ligeras para evitar sobrecarga estructural.

Además, resulta recomendable realizar proyectos piloto y pruebas a pequeña escala antes de extender las intervenciones (Knifka et al., 2023).

Mantenimiento y operación

El éxito de las SbN depende de un plan de mantenimiento claro, que incluya riego, poda, control de plagas y presupuesto a largo plazo. La ausencia de mantenimiento reduce significativamente los beneficios ecológicos y energéticos (Michalik-Śniezek et al., 2024). Por otra parte, es esencial definir quién cargará con la responsabilidad de la gestión (propietarios, municipios, instituciones patrimoniales).

Evaluación y monitoreo

Se recomienda establecer indicadores de desempeño para monitorear el efecto de las SbN en temperatura, consumo energético, biodiversidad, percepción social o cualesquiera que sean los parámetros relevantes que se definan para la investigación. Este seguimiento permite ajustar las soluciones implementadas y generar conocimiento transferible y escalable a otros proyectos de investigación (Shehata et al., 2024).

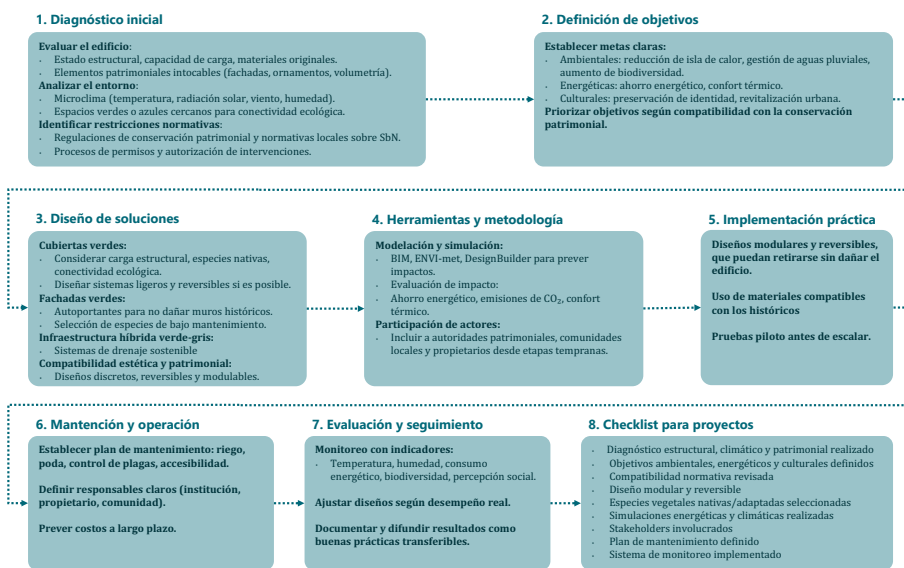


Figura 26: Guías para la apropiada integración de SbN en edificios históricos.

La integración de SbN en edificios históricos es viable siempre que se adopte un enfoque sistemático, interdisciplinario y sensible al valor patrimonial. Los proyectos exitosos comparten tres principios:

- Compatibilidad patrimonial, mediante soluciones reversibles y discretas.
- Evaluación previa y participativa, que involucre a actores técnicos, institucionales y comunitarios.
- Gestión continua, asegurando el mantenimiento y la monitorización del desempeño.

Esto es una guía inicial para orientar la práctica en contextos patrimoniales, aportando criterios replicables y adaptables a diferentes escalas y realidades urbanas.

3. Definición de zona de estudio

3.1. Criterios de selección y parámetros de estudio

Se utilizaron imágenes satelitales para el análisis y caracterización de la zona de estudio. Se utilizan imágenes ráster de LANDSAT8, obtenidas a través de la herramienta Earth Explorer (USGS (U.S. Geological Survey), 2022), eligiendo el día 24 de diciembre de 2022 debido a que era la fecha más cercana al solsticio de verano disponible. A partir de estas imágenes se calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Avdan & Jovanovska, 2016) para el área de Valparaíso utilizando el software QGIS, obteniendo como resultado la imagen a continuación (Figura 27).

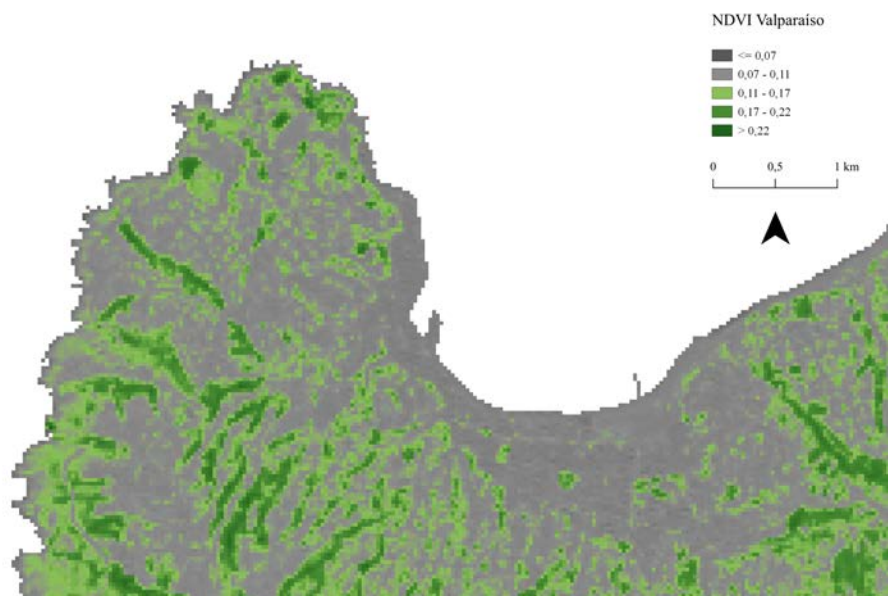


Figura 27: Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la ciudad de Valparaíso. Elaboración propia.

A partir de las imágenes ráster de LANDSAT8 se realiza el cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST) para la zona de Valparaíso (Figura 28), utilizando las siguientes ecuaciones:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L - O_i \quad (1)$$

L_{λ} : radiancia espectral en la parte superior de la atmósfera (TOA).

Tabla 8: Metadatos de las imágenes satelitales.

Constante térmica, Banda 10	K_1	1.321,08
	K_2	777,89
Factor de reescalado, Banda 10	M_L	0,000342
	A_L	0,1
Corrección, Banda 10	O_i	0,29

$$BT = \frac{K_2}{\ln [(K_1/L_\lambda)+1]} - 273.15 \quad (2)$$

BT : Temperatura de brillo.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - R}{NIR + R} \right) \quad (3)$$

$NDVI$: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

NIR : Banda de infrarrojo cercano (Banda 5).

R : Banda roja (Banda 4).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_s - NDVI_v} \right)^2 \quad (4)$$

P_v : porcentaje de vegetación.

$$\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{v\lambda} \cdot P_v + \varepsilon_{s\lambda} \cdot (1 - P_v) + C_\lambda \quad (5)$$

ε_λ : emisividad de la superficie terrestre.

$\varepsilon_{v\lambda}$: emisividad de la vegetación.

$\varepsilon_{s\lambda}$: emisividad del suelo.

C_λ : rugosidad de la superficie tomada como 0.005 en superficies homogéneas y planas.

$$\varepsilon_\lambda = \begin{cases} \varepsilon_{s\lambda}, & NDVI < NDVI_s \\ \varepsilon_{v\lambda} \cdot P_v + \varepsilon_{s\lambda} \cdot (1 - P_v) + C, & NDVI_s \leq NDVI \leq NDVI_v \\ \varepsilon_{s\lambda} + C, & NDVI > NDVI_v \end{cases} \quad (6)$$

$NDVI_s$: Valor de $NDVI$ para vegetación (0.5 en condiciones globales).

$NDVI_v$: Valor de NDVI para suelo (0.2 en condiciones globales).

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \cdot 10^{-2} \text{ mK} \quad (7)$$

ρ : constante de radiación térmica.

h : constante de Planck (6.626×10^{-34} J·s).

c : velocidad de la luz (2.998×10^8 m/s).

σ : constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K).

$$T_s = \frac{BT}{1 + \lambda \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{BT}{\rho}\right) \cdot \ln(\epsilon_\lambda)} \quad (8)$$

T_s : Temperatura de la superficie terrestre (Land Surface Temperature, LST).

λ : Longitud de onda de la radiancia emitida (valor usado: 10.895 μm).

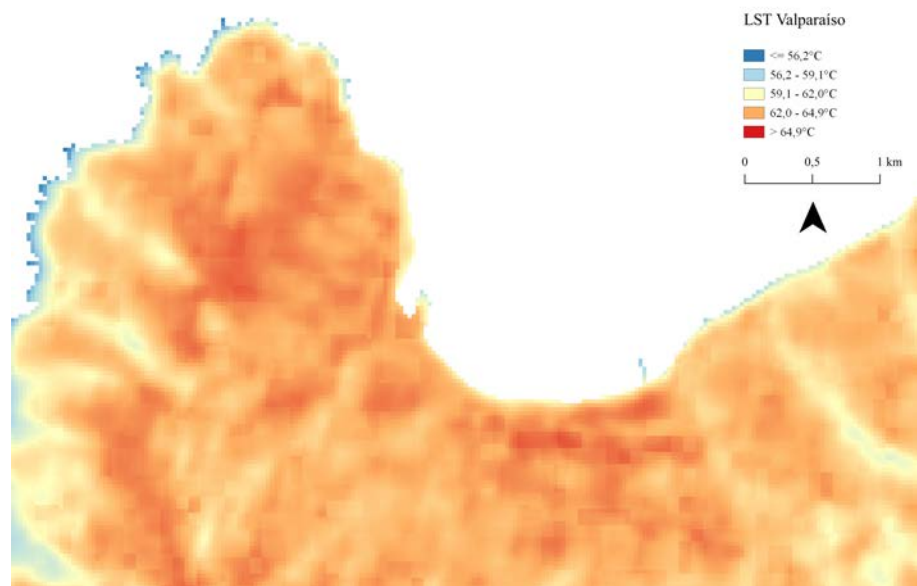


Figura 28: Temperatura superficial terrestre (LST) para la zona de Valparaíso. Elaboración propia.

En la Figura 28 se evidencia la concentración de altas temperaturas en la zona del plan de la ciudad y las temperaturas más bajas en las quebradas de los cerros debido a la vegetación presente.

Por último, en la Figura 29 se puede ver la escasa vegetación presente en el eje Avenida Argentina del barrio “El Almendral”, lo cual, en

otras palabras, es un inmenso potencial de mejora, mediante posibles intervenciones.



Figura 29: Vegetación presente en el sector oriente del barrio El Almendral.

3.2. Caracterización de la zona de estudio

3.2.1. Delimitación espacial



Figura 30: Ubicación de la zona de estudio en la ciudad de Valparaíso.

El área de estudio se selecciona (Figura 30) debido a su representatividad de la ciudad de Valparaíso, ya que se encuentra en una zona de conexión entre el cerro y el plan, está dentro de uno de los barrios históricos de la ciudad, y su espacio urbano tiene un inmenso potencial de desarrollo. Esta zona se encuentra inmersa en un sector del barrio "El Almendral" de Valparaíso, perteneciente a las zonas de conservación histórica ZCHAL-V

y ZCHAL-B (Ordenanza Local Plan Regulador Valparaíso Refundida, 2005), que va desde la calle Eusebio Lillo hasta la calle 12 de Febrero y desde la calle Quillota hasta la avenida Pedro Montt, considerando los edificios históricos y el espacio público de la Avenida Argentina. A su vez, se eligieron nueve edificios y sitios por su representatividad e interés a ser intervenidos; dentro de estos se encuentran cuatro edificios de conservación histórica.

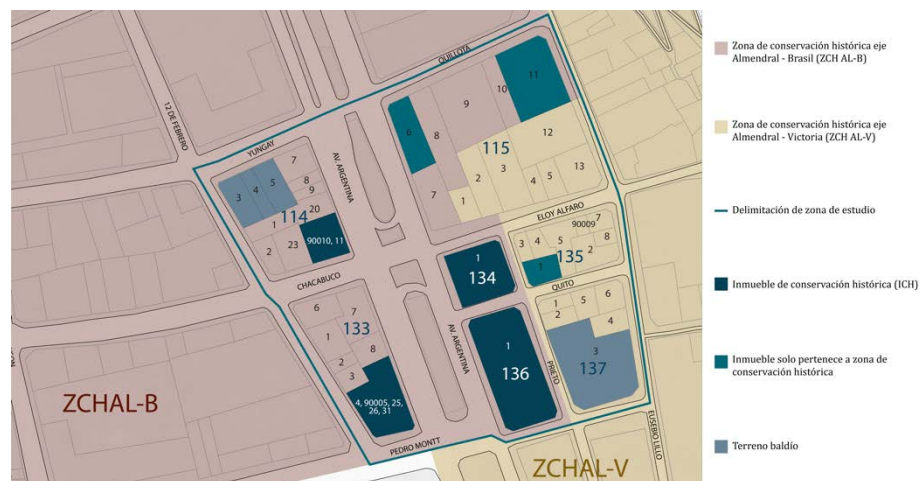


Figura 31: Delimitación de la zona de estudio, con los edificios y sitios seleccionados para integrar las intervenciones marcados en azul.

Tabla 9: Detalle del rol, dirección y condición de Inmueble de Conservación Histórica (ICH) de los edificios seleccionados.

N°	Zona	Rol	ICH	Dirección
1	ZCHAL-B	114-1	-	12 de febrero 251-269
2	ZCHAL-B	114-2	-	Chacabuco 2901-2903 12 de febrero 281
3	ZCHAL-B	114-03, 114-04, 114-05	-	Yungay 2912-2922 Yungay 2930 Yungay 2946
4	ZCHAL-B	114-7	-	Avenida Argentina 204-222
5	ZCHAL-B	114-8	-	Avenida Argentina 230
6	ZCHAL-B	114-9	-	Avenida Argentina 240
7	ZCHAL-B	114-90010 114-11	X	Avenida Argentina 264-288
8	ZCHAL-B	114-20	-	Avenida Argentina 248
9	ZCHAL-B	114-23	-	Chacabuco 2911, 2923, 2925
10	ZCHAL-V	115-1	-	Eloy Alfaro 19-29
11	ZCHAL-V	115-2	-	Eloy Alfaro 35-41
12	ZCHAL-V	115-3	-	Eloy Alfaro 747-57

Estrategias de intervención para el control del clima urbano

13	ZCHAL-V	115-4	-	Eloy Alfaro 363-369
14	ZCHAL-V	115-5	-	Eloy Alfaro 71-73
15	ZCHAL-B	115-6	-	Avenida Argentina 243
16	ZCHAL-B	115-7	-	Avenida Argentina 283
17	ZCHAL-B	115-8	-	Quillota 20
18	ZCHAL-B	115-9	-	Quillota 28-54
19	ZCHAL-B	115-10	-	Quillota 60
20	ZCHAL-B	115-11	-	Quillota 70 - 90
21	ZCHAL-V	115-12	-	Eusebio Lillo 246
22	ZCHAL-V	115-13	-	Eusebio Lillo 289
23	ZCHAL-B	133-1	-	12 de febrero 323, 329, 331
24	ZCHAL-B	133-2	-	12 de febrero 345
25	ZCHAL-B	133-3	-	12 de febrero 363-351
26	ZCHAL-B	133-6	-	Chacabuco 2904
27	ZCHAL-B	133-7	-	Avenida Argentina 302-328
28	ZCHAL-B	133-8		Avenida Argentina 334-344
29	ZCHAL-B	133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	X	Avenida Argentina / Avenida Pedro Montt 334 -344; 384
30	ZCHAL-B	134-1	X	Avenida Argentina 301 -331
31	ZCHAL-V	135-1	-	Quito 51
32	ZCHAL-V	135-2	-	Quito 87
33	ZCHAL-V	135-3	-	Prieto 111-115
34	ZCHAL-V	135-4	-	Eloy Alfaro 54
35	ZCHAL-V	135-5	-	Eloy Alfaro 66-72
36	ZCHAL-V	135-90009	-	Eloy Alfaro 82-86
37	ZCHAL-V	135-7	-	Eusebio Lillo 306 -308
38	ZCHAL-V	135-8	-	Eusebio Lillo 310
39	ZCHAL-B	136-1	X	Avenida Argentina 339 – 399
40	ZCHAL-V	137-1	-	Prieto 145
41	ZCHAL-V	137-2	-	Prieto 253
42	ZCHAL-V	137-3	-	Avenida Pedro Montt 3055 - 3093
43	ZCHAL-V	137-4	-	Eusebio Lillo 354-364
44	ZCHAL-V	137-5	-	Quito 72-78
45	ZCHAL-V	137-6	-	Eusebio Lillo 340-350

3.2.2. Conectividad

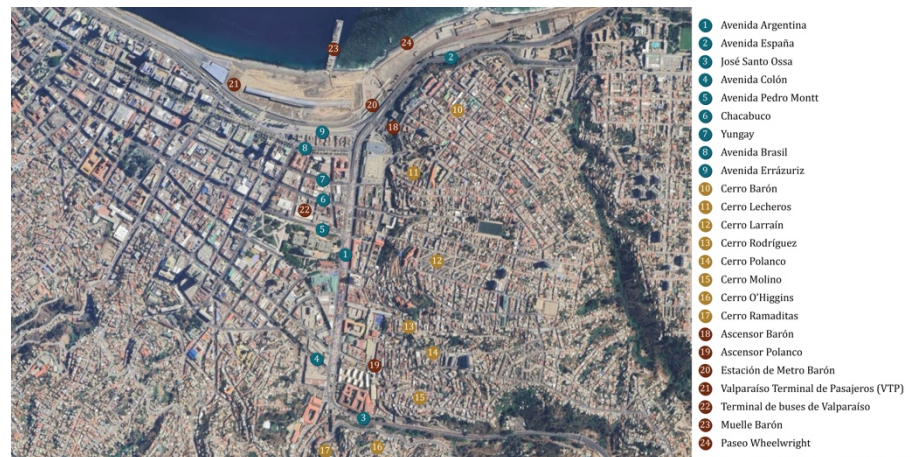


Figura 32: Ubicación de distintos puntos de interés en las cercanías a la zona de estudio.

La zona de estudio seleccionada se encuentra en un punto neurálgico de la ciudad, el eje Avenida Argentina, el cual está emplazado; es uno de los más relevantes de la ciudad, siendo el punto de conexión con Viña del Mar mediante Avenida España y con Santiago mediante la bajada Santos Ossa, además de conectar con los sectores de Placilla y Curauma. El terminal de pasajeros que arriban o parten desde el puerto de Valparaíso, comúnmente conocido como VTP, se encuentra a metros de la zona de estudio, formando parte de las primeras impresiones que los turistas tendrán de la ciudad. Al lado de esto se encuentra la estación de metro Barón, al final de la Avenida Argentina, la cual es un punto de acceso al sistema de metro, el cual no solo conecta todo el plan de la ciudad, sino que también conecta con las ciudades cercanas hacia el interior: Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache. El eje Avenida Argentina es un punto de conexión importante para la ciudad de Valparaíso consigo misma también, siendo el punto de inicio de varias de las calles principales de la ciudad, como lo son av. Errázuriz, av. Brasil, Yungay, Chacabuco, av. Pedro Montt y av. Colón, todas estas siendo rutas principales de distintos medios de transporte público en la ciudad. A nivel topográfico, Avenida Argentina es el punto de conexión entre varios de los cerros de la ciudad con el plan, a través de calles, escaleras e incluso algunos de los icónicos ascensores de la ciudad, aunque no todos estén actualmente en funcionamiento. Un último factor relevante para la investigación respecto a la conectividad de la zona es su cercanía a la costa, dado el clima presente en la ciudad, en particular los niveles de

humedad relativa con sus efectos para el clima urbano, y los efectos que puede tener en las distintas estrategias de intervención a estudiar.

3.2.3. Usos actuales

En concordancia con los usos permitidos para el sector del barrio Almendral, los usos actuales para los edificios dentro de la zona estudiada se caracterizan por, en su mayoría, seguir la configuración de primer piso comercial, mientras que los pisos superiores son de uso residencial, al igual que la mayoría de las edificaciones del barrio. En la Tabla 10 se puede ver el resumen de los usos actuales de cada uno de los edificios.

Tabla 10: Usos actuales de los edificios en la zona de estudio.

Nº	Zona	Rol	Destino actual
1	ZCHAL-B	114-1	SS: - PP: Comercio PS:
2	ZCHAL-B	114-2	SS: - PP: Comercio PS: Comercio
3	ZCHAL-B	114-03, 114-04, 114-05	SS: - PP: Estacionamiento. PS: -
4	ZCHAL-B	114-7	SS: - PP: Comercio PS: Comercio
5	ZCHAL-B	114-8	SS: - PP: Comercio PS: Comercio
6	ZCHAL-B	114-9	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
7	ZCHAL-B	114-90010 114-11	SS: Bodega PP: Comercio PS: Comercio
8	ZCHAL-B	114-20	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
9	ZCHAL-B	114-23	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
10	ZCHAL-V	115-1	SS: - PP: Comercio PS: Comercio
11	ZCHAL-V	115-2	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
12	ZCHAL-V	115-3	SS: - PP: - PS: -
13	ZCHAL-V	115-4	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
14	ZCHAL-V	115-5	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
15	ZCHAL-B	115-6	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda

3. Definición de zona de estudio

16	ZCHAL-B	115-7	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
17	ZCHAL-B	115-8	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
18	ZCHAL-B	115-9	SS: - PP: Comercio PS: -
19	ZCHAL-B	115-10	SS: - PP: Comercio PS: -
20	ZCHAL-B	115-11	SS: - PP: Comercio PS: Comercio
21	ZCHAL-V	115-12	SS: - PP: Estacionamiento PS: -
22	ZCHAL-V	115-13	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
23	ZCHAL-B	133-1	SS: - PP: Vivienda PP: Vivienda
24	ZCHAL-B	133-2	SS: - PP: Comercio PP: Vivienda
25	ZCHAL-B	133-3	SS: - PP: Vivienda PP: Vivienda
26	ZCHAL-B	133-6	SS: - PP: Comercio PP: Vivienda
27	ZCHAL-B	133-7	SS: - PP: Comercio PP: Vivienda
28	ZCHAL-B	133-8	SS: - PP: Comercio PP: Vivienda
29	ZCHAL-B	133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
30	ZCHAL-B	134-1	SS: - Bodega PP: Comercio PS: Vivienda
31	ZCHAL-V	135-1	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
32	ZCHAL-V	135-2	SS: - PP: Bodega y almacenaje PS: Bodega y almacenaje
33	ZCHAL-V	135-3	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
34	ZCHAL-V	135-4	SS: - PP: Comercio PS: -
35	ZCHAL-V	135-5	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
36	ZCHAL-V	135-90009	SS: - PP: Bienes comunes PS: -
37	ZCHAL-V	135-7	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
38	ZCHAL-V	135-8	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda

39	ZCHAL-B	136-1	SS: - PP: Comercio PS: Vivienda
40	ZCHAL-V	137-1	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
41	ZCHAL-V	137-2	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
42	ZCHAL-V	137-3	SS: - PP: Estacionamiento PS: -
43	ZCHAL-V	137-4	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda
44	ZCHAL-V	137-5	SS: - PP: Industria PS: Vivienda
45	ZCHAL-V	137-6	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda

Esta información se obtuvo en su mayoría mediante estudio de terreno; sin embargo, los edificios con clasificación de ICH poseían en sus fichas información respecto a este tema, inclusive divulgando información sobre sus usos originales, como se puede ver en la Tabla 11.

Tabla 11: Usos originales de los edificios con clasificación de ICH.

N°	Zona	Rol	Destino original	Año de construcción
7	ZCHAL-B	114-90010 114-11	SS: Vivienda PP: Vivienda PS: Vivienda	1900 - 1919
29	ZCHAL-B	133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda	1920 - 1939
30	ZCHAL-B	134-1	SS: Vivienda PP: Vivienda PS: Vivienda	1900 - 1919
39	ZCHAL-B	136-1	SS: - PP: Vivienda PS: Vivienda	1900 - 1919

3.2.4. Estado de conservación

A pesar de que la integridad de la zona de estudio pertenece a zonas de conservación histórica, el estado en el que se mantiene es lejos del esperado de un sector con esta categoría; sin embargo, a pesar de no estar en óptimas condiciones, la mayoría de las edificaciones se mantienen en al menos un estado “regular”.



Figura 33: Edificios demolidos y parcialmente demolidos en la zona de estudio.

En este sector existen cuatro sitios en condiciones de total deterioro, al punto de estar demolidos, como se puede ver en la Figura 33, donde dos de estos sitios mantienen solo sus fachadas, con la totalidad de su interior demolido, ahora invadido de manera espontánea por vegetación. En el caso de los otros dos sitios, los edificios fueron demolidos por completo, dejándolos como sitios eriazos, ambos sirviendo hoy de estacionamiento.

El estado en particular de cada uno de los edificios en la zona de estudio se puede ver en la Tabla 12.

Tabla 12: Detalle del estado de conservación de los edificios en la zona de estudio.

N°	Rol	Elemento	Entorno	Grado de alteración
1	114-1	Regular	Regular	-
2	114-2	Regular	Regular	-
3	114-03, 114-04, 114-05	Demolido	Regular	Total
4	114-7	Malo	Regular	-
5	114-8	Regular	Regular	-
6	114-9	Regular	Regular	-
7	114-90010 114-11	Regular	Regular	Poco modificado
8	114-20	Regular	Regular	-
9	114-23	Regular	Regular	-
10	115-1	Regular	Regular	-
11	115-2	Regular	Regular	-
12	115-3	Malo	Regular	Interior demolido

13	115-4	Regular	Regular	-
14	115-5	Regular	Regular	-
15	115-6	Regular	Regular	-
16	115-7	Regular	Regular	-
17	115-8	Regular	Regular	-
18	115-9	Regular	Regular	-
19	115-10	Malo	Regular	Interior demolido
20	115-11	Bueno	Regular	Algo modificado
21	115-12	Regular	Regular	-
22	115-13	Regular	Regular	-
23	133-1	Regular	Regular	-
24	133-2	Regular	Regular	-
25	133-3	Regular	Regular	-
26	133-6	Regular	Regular	-
27	133-7	Regular	Regular	-
28	133-8	Regular	Regular	-
29	133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	Regular	Regular	Sin modificación
30	134-1	Regular	Regular	Sin modificación
31	135-1	Regular	Regular	-
32	135-2	Regular	Regular	-
33	135-3	Regular	Regular	-
34	135-4	Malo	Regular	-
35	135-5	Regular	Regular	-
36	135-90009	Regular	Regular	-
37	135-7	Regular	Regular	-
38	135-8	Regular	Regular	-
39	136-1	Regular	Regular	Sin modificación
40	137-1	Regular	Regular	-
41	137-2	Regular	Regular	-
42	137-3	Demolido	Regular	Total
43	137-4	Regular	Regular	-
44	137-5	Regular	Regular	-
45	137-6	Regular	Regular	-

3.2.5. Características morfológicas

Los edificios dentro de la zona de estudio se presentan en una vasta diversidad morfológica; para categorizar esta información, se dividirá la información en tipología, agrupamiento y tipo de cubierta, según lo presentado en la Figura 34.

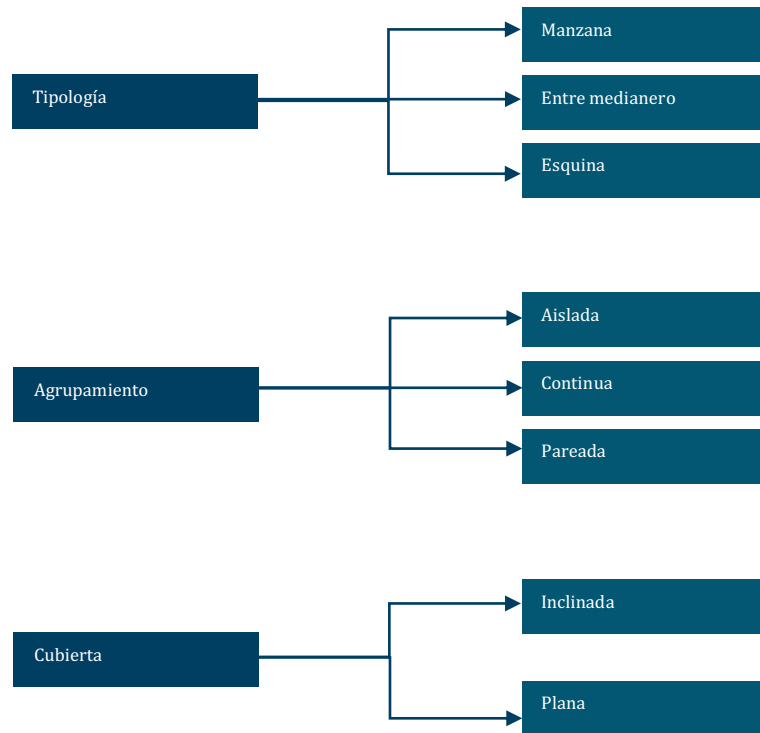


Figura 34: Categorización de las características morfológicas de los edificios.

A continuación, en la Tabla 13, se muestran las características morfológicas de todos los edificios en la zona de estudio. Es relevante mencionar que para los casos 114-03, 114-04, 114-05, 115-10, 115-3 y 137-3 no se entrega información de agrupamiento o cubierta debido a que son sitios eriazos, con y sin fachadas remanentes.

Tabla 13: Características morfológicas de los edificios en la zona de estudio.

N°	Rol	Tipología	Agrupamiento	Cubierta	Altura [m]	Pisos
1	114-1	Entre medianero	Continua	Inclinada	8,12	2
2	114-2	Esquina	Pareada	Inclinada	9,86	2
3	0114-03, 0114-04, 0114-05	Esquina	-	-	0	0
4	114-7	Esquina	Continua	Inclinada	11,6	3
5	114-8	Entre medianero	Continua	Inclinada	8,81	2
6	114-9	Entre medianero	Continua	Inclinada	8,8	2
7	114-90010, 114-11	Esquina	Pareada	Inclinada	13,46	4
8	114-20	Entre medianero	Continua	Inclinada	18,73	6

Estrategias de intervención para el control del clima urbano

9	114-23	Entre medianero	Pareada	Inclinada	10,24	2
10	115-1	Entre medianero	Continua	Inclinada	12	4
11	115-2	Entre medianero	Pareada	Inclinada	12	3
12	115-3	Entre medianero	Pareada	-	12	4
13	115-4	Entre medianero	Continua	Inclinada	12	4
14	115-5	Entre medianero	Continua	Inclinada	15,6	5
15	115-6	Esquina	Continua	Inclinada	15,2	3
16	115-7	Esquina	Continua	Inclinada	12	3
17	115-8	Entre medianero	Pareada	Inclinada	12,2	3
18	115-9	Entre medianero	Continua	Inclinada	9,3	2
19	115-10	Entre medianero	Continua	-	12	2
20	115-11	Esquina	Continua	Inclinada	9,5	3
21	115-12	Entre medianero	Continua	Inclinada	12	1
22	115-13	Esquina	Continua	Inclinada	8,5	2
23	133-1	Entre medianero	Pareada	Inclinada	8,34	2
24	133-2	Entre medianero	Pareada	Inclinada	9,55	3
25	133-3	Entre medianero	Pareada	Inclinada	8,5	2
26	133-6	Esquina	Pareada	Inclinada	10,49	2
27	133-7	Esquina	Pareada	Inclinada	10,06	2
28	133-8	Entre medianero	Continua	Inclinada	7,74	2
29	133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	Esquina	Continua	Inclinada	13,14	3
30	134-1	Manzana	Aislada	Plana	11,2	3
31	135-1	Esquina	Continua	Inclinada	8,5	2
32	135-2	Esquina	Continua	Inclinada	10,8	2
33	135-3	Esquina	Continua	Inclinada	8,4	2
34	135-4	Entre medianero	Pareada	Inclinada	8	2
35	135-5	Entre medianero	Pareada	Inclinada	7	2
36	135-90009	Entre medianero	Pareada	Inclinada	8,06	3
37	135-7	Esquina	Pareada	Inclinada	6,6	2
38	135-8	Entre medianero	Continua	Inclinada	7,1	2
39	136-1	Manzana	Aislada	Inclinada	11,6	3
40	137-1	Esquina	Continua	Inclinada	5,7	2
41	137-2	Entre medianero	Continua	Inclinada	6,5	2
42	137-3	Entre medianero	-	-	0	0
43	137-4	Entre medianero	Continua	Inclinada	7,5	2
44	137-5	Entre medianero	Continua	Inclinada	11,6	3
45	137-6	Esquina	Continua	Inclinada	7,3	2

3.2.6. Materialidad

Un recurso invaluable al momento de estudiar la materialidad de los edificios en la zona de estudio fue, sin duda, las fichas de evaluación de inmueble de conservación histórica. Estos documentos entregaron información detallada de la materialidad y estructura de los edificios disponibles (ver Tabla 14).

Tabla 14: Detalle de la materialidad de los edificios con categoría de ICH.

Rol	Estructura	Techumbre	Fachada	Otros
114-90010 114-11	Madera	Acero galvanizado gris	Estuco amarillo claro	Madera y yeso
133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	Albañilería	Acero galvanizado rojo	Estuco rojo	-
134-1	Albañilería	Acero galvanizado gris	Ladrillo	-
136-1	Albañilería	Acero galvanizado rojo	Ladrillo	-

No obstante, la mayoría de los edificios en la zona de estudio no contaban con estas fichas al carecer el estado de ICH, por lo que para poder conocer los materiales de estos se realizó observación en terreno de cada uno de estos, con el apoyo de fotografías de las fachadas y fotografías de alta resolución de los techos mediante imágenes de dron. La información obtenida de este trabajo se ve resumida en la Tabla 15, con la consideración de estar escrita directamente en el código interpretado por la base de materiales de ENVI-met para el momento de modelación y simulación en dicho software.

Tabla 15: Listado de materiales de techo y muro asignados a cada edificio acorde a la base de datos de ENVI-met.

Rol	Material techo	Material muros
114-1	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2047 (LAD Pr EST Azul)
114-2	PH3001 (Zincalum fabrica)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
114-7	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
114-8	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
114-9	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
114-90010	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
114-20	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2050 (LAD Pr EST Gris)
114-23	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
115-1	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2045 (LAD Pr EST Rojo)
115-2	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
115-3	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
115-4	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2047 (LAD Pr EST Azul)
115-5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
115-6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
115-7	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)

115-8	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
115-9	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)
115-10	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
115-11	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
115-12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2053 (Acero Container)
115-13	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2045 (LAD Pr EST Rojo)
133-1	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
133-2	PH3001 (Zincalum fabrica)	PV2051 (LAD Pr EST Rosa)
133-3	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
133-6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
133-7	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
133-8	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
133-90005	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2045 (LAD Pr EST Rojo)
134-1	PV2001 (H.A. EST BRUTO)	PV2057 (Ladrillo quemado)
135-1	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
135-2	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2050 (LAD Pr EST Gris)
135-3	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
135-4	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
135-5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
135-90009	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
135-7	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
135-8	PH3004 (Zincalum verde)	PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)
136-1	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2057 (Ladrillo quemado)
137-1	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
137-2	PH3001 (Zincalum fabrica)	PV2051 (LAD Pr EST Rosa)
137-4	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2051 (LAD Pr EST Rosa)
137-5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)
137-6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2050 (LAD Pr EST Gris)

3.2.7. Casos de estudio seleccionados

Una vez que se recolectó, organizó y analizó toda la información disponible encontrada de la zona de estudio, se procede a enderezar, unir y escalar las fotografías tomadas en terreno para levantar las fachadas de los edificios, de la Figura 36 a Figura 42. Esto, en conjunto con la fotografía tomada por dron, se utiliza para realizar levantamientos de planimetría

para profundizar el análisis; los resultados de esto se pueden ver de la Figura 35 hasta la Figura 45.



Figura 35: Plano de techumbre de los edificios en la zona de estudio.



Figura 36: Manzana 114

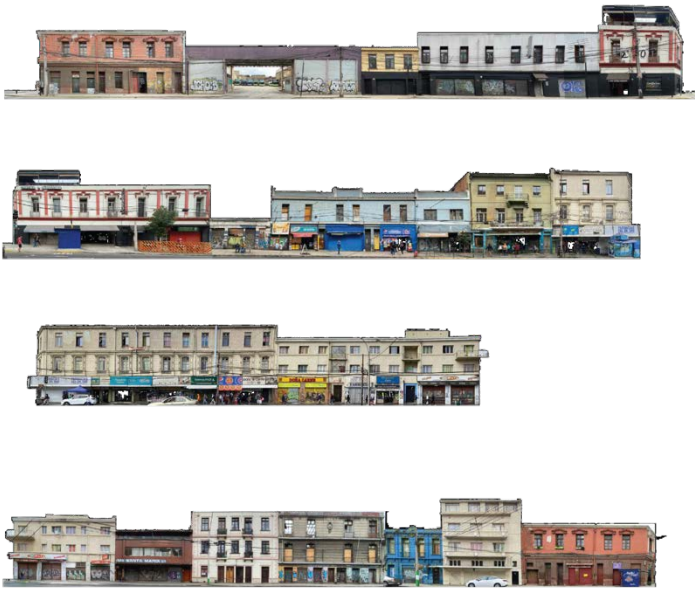


Figura 37: Manzana 115



Figura 38: Manzana 133.



Figura 39: Manzana 134.



Figura 40: Manzana 135.



Figura 41: Manzana 136.



Figura 42: Manzana 137.



Figura 44: Elevación de las fachadas Norte.



Figura 43: Elevación de las fachadas Oeste.

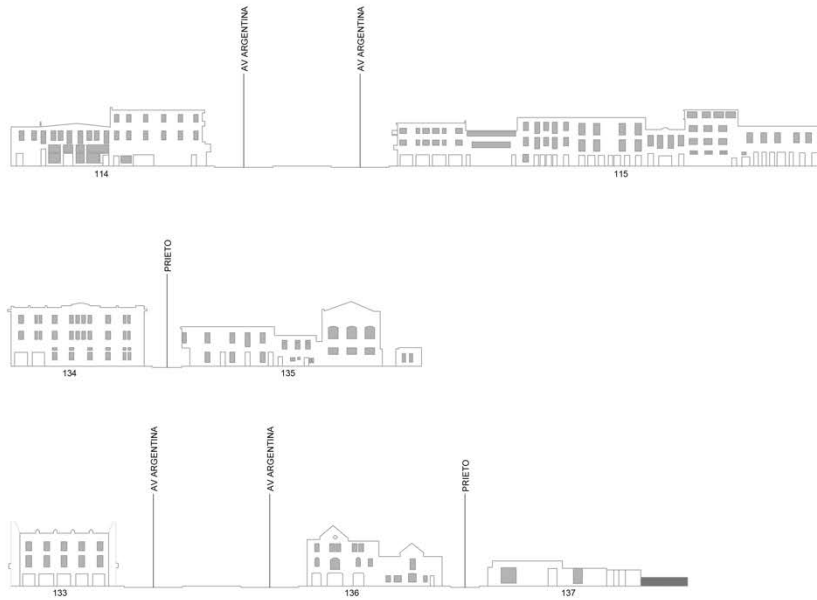


Figura 46: Elevación de las fachadas Sur.

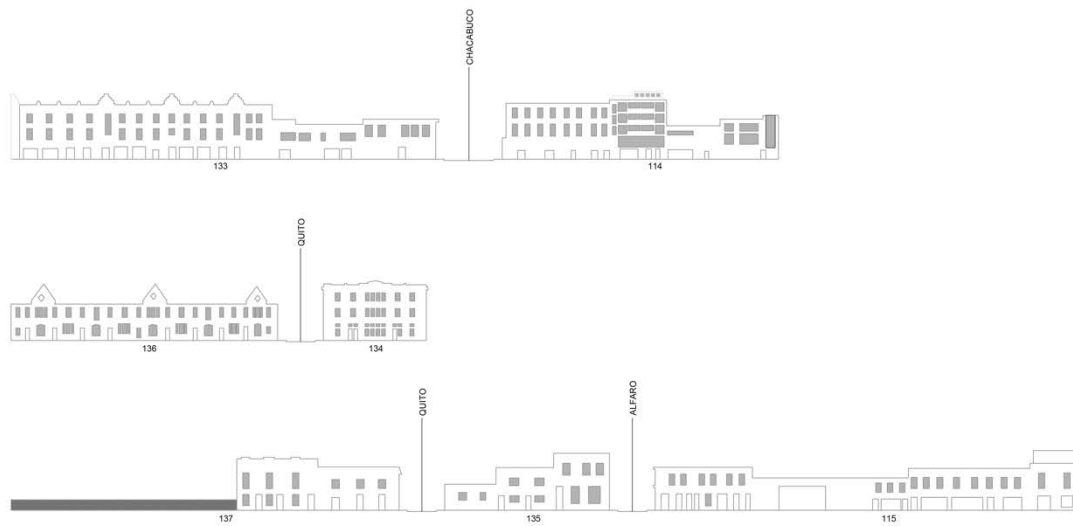


Figura 45: Elevación de las fachadas Este.

3.2.7.1. Inmuebles de conservación histórica (ICH)



Figura 47: Foto del ICH rol 114-11.



Figura 48: Foto del ICH rol 133-90005, 133-4, 133-25, 133-90026, 133-31.



Figura 49: Foto del ICH rol 134-1.



Figura 50: Foto del ICH rol 136-1.

Como ya se ha mencionado, existen cuatro edificios con la distinción de ser Inmuebles de Conservación Histórica (ICH), a los cuales corresponden los roles:

- 114-1 (ver Figura 47).
- 133-90005, 133-4, 133-25, 133-90026, 133-31 (ver Figura 48).
- 134-1 (ver Figura 49).
- 136-1 (ver Figura 50).

Gracias a las fichas disponibles en la base de datos de patrimonio urbano del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2005), se pudo obtener considerablemente más información de estas edificaciones, la cual se puede ver resumida en las siguientes tablas (ver Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19).

Tabla 16: Valores y atributos patrimoniales de los Inmuebles de Conservación Histórica (ICH) en la zona de estudio.

N°	Rol	Urbanístico	Arquitectónico	Histórico	Económico	Social
7	114-90010 114-11	Edificio esquina inscrito en una manzana compacta de fachada continua en el entorno de Av. Argentina, en intersección con Calle Chacabuco. Destaca por su volumetría, aportando significativamente a la estructura e imagen urbana de dicho entorno.	Es un referente de la tipología de edificio residencial con uso comercial en planta baja, inscrito dentro del estilo neoclásico francés, muy utilizado hacia fines del siglo XIX y comienzos del XX en Chile. Es un elemento de gran calidad estética y arquitectónica.	Está publicado en revistas y/o seminarios.	Está en muy buen estado de conservación y no necesita recuperación.	No es mencionado en sondeo de opinión.
29	133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	Forma parte del entorno de la Av. Argentina, conformando un extenso frente hacia dicho espacio público y la esquina con Av. Pedro Montt, aportando significativamente a la estructura e imagen urbana del sector.	Característico de la tipología de edificación continua con uso comercial en nivel de calle, es singular por su estilo art déco expresado en sus fachadas, que le otorgan gran calidad estética y arquitectónica.	Está publicado en revistas y/o seminarios.	Su recuperación es económica y socialmente rentable.	No es mencionado en sondeo de opinión.
30	134-1	Edificio manzana que forma parte del entorno de Av. Argentina, de volumetría maciza y compacta, es un elemento que aporta significativamente a la estructura e imagen urbana de dicho entorno.	Representativo de la arquitectura historicista de principios del siglo XX, se destaca dentro del contexto en que se emplaza por su tipología de manzana cerrada de volumetría robusta y su gran calidad estética y arquitectónica.	Está publicado en revistas y/o seminarios.	Está en muy buen estado de conservación y no necesita recuperación.	No es mencionado en sondeo de opinión.
39	136-1	Edificio manzana que forma parte del entorno de Av. Argentina, conforma un extenso frente y la esquina con Av. Pedro Montt, aportando significativamente a la estructura e imagen urbana de dicho entorno.	Representativo de la arquitectura historicista de principios del siglo XX, se destaca dentro del contexto en que se emplaza por la extensión y singular expresión de sus fachadas, que denotan gran calidad estética y arquitectónica.	Está publicado en revistas y/o seminarios.	Está en muy buen estado de conservación y no necesita recuperación.	No es mencionado en sondeo de opinión.

Tabla 17: Elementos significativos de los Inmuebles de Conservación Histórica (ICH) en la zona de estudio.

Rol	Estilo	Estructurales	Fachada	Vegetación	Puntual	Descripción
114-90010 114-11	X	-	X	-	X	Destaca la composición modular de vanos en fachadas y el tercer nivel tipo mansarda y la ornamentación elaborada de los enmarcamientos de vanos a partir del segundo piso.
133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	X	-	X	-	X	Destacan los elementos ornamentales de estilo art déco que componen las fachadas.
134-1	-	-	X	-	-	Volumetría robusta y sobria composición de fachadas, con ladrillo a la vista y elementos que aluden al estilo neoclásico, tales como el cornisamiento superior con entablamento, pilastras y balcón de balaustres en ochavo de esquinas.
136-1	-	-	X	-	-	Destaca el juego volumétrico que corona el edificio, de alusión neogótica, con mansardas que sobresalen cada cierto tramo, y la expresión de las fachadas, con ladrillo a la vista y sobria ornamentación en vanos, fenestración y balcones.

Tabla 18: Estado de conservación de los Inmuebles de Conservación Histórica (ICH) en la zona de estudio.

Rol	Elemento	Entorno	Grado de alteración	Aptitud para rehabilitación
114-90010 114-11	Regular	Regular	Poco modificado	-
133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	Regular	Regular	Sin modificación	-
134-1	Regular	Regular	Sin modificación	-
136-1	Regular	Regular	Sin modificación	-

Tabla 19: Relación con el entorno de los Inmuebles de Conservación Histórica (ICH) en la zona de estudio.

Rol	Imagen urbana relevante por	Forma parte de un conjunto	Presencia de elementos patrimoniales
114-90010 114-11	Ubicación	No	Espacio público relevante
133-90005, 133-4 133-25, 133-90026, 133-31	-	Si	Espacio público relevante
134-1	Ubicación	Si	Monumento histórico
136-1	Ubicación Singularidad	Si	Espacio público relevante

4. Propuestas de intervención

4.1. Definición de las estrategias de intervención

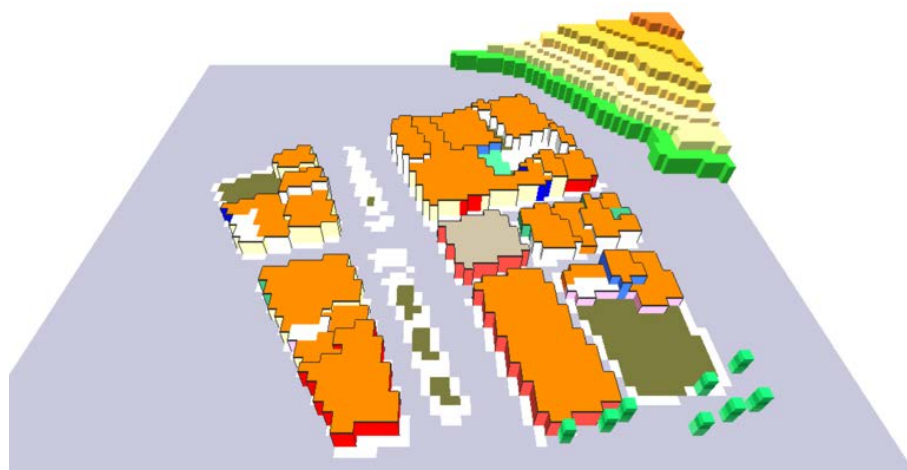


Figura 51: Modelo en ENVI-met del caso original.

4.1.1. Infraestructura verde

Las estrategias de infraestructura verde fueron cuatro en total: la integración de vegetación (Figura 53), es decir, el uso de árboles; en este caso se optó por que los árboles fueran modelados en base a árboles genéricos de mediana altura (“02AMDS (Conic, medium trunk, dense, small (5m))”), dado a la similitud a los árboles ya presente en la zona, apuntado a la simplificación del modelo; y el pasto en el suelo disponible. El segundo escenario (Figura 54) consiste en la adición de techos verdes en las edificaciones seleccionadas. Debido a las limitaciones estructurales y de conservación propias de un edificio histórico, y considerando las características mostradas en la Tabla 20, se optó por una estrategia de techo verde extensivo en lugar de una intensiva (Cascone, 2019). Esta elección se fundamenta en que el sistema extensivo requiere menor carga estructural, demanda menos mantenimiento y presenta una intervención

Tabla 20: Características principales de tipos de techo verde. Fuente Cascone, 2019

Características principales	Intensivo	Extensivo
Mantenimiento	Alto	Bajo
Riego	Periódico	Regular
Diversidad de plantas	Sedum, Hierba, Musgo, Césped,	Perenne, Arbusto, Árbol
Costo	Bajo	Alto
Peso	Ligero (60–150 kg/m ²)	Pesado (180–500 kg/m ²),
Grosor	60–200 mm	140–400 mm
Uso	Accesible	Inaccesible

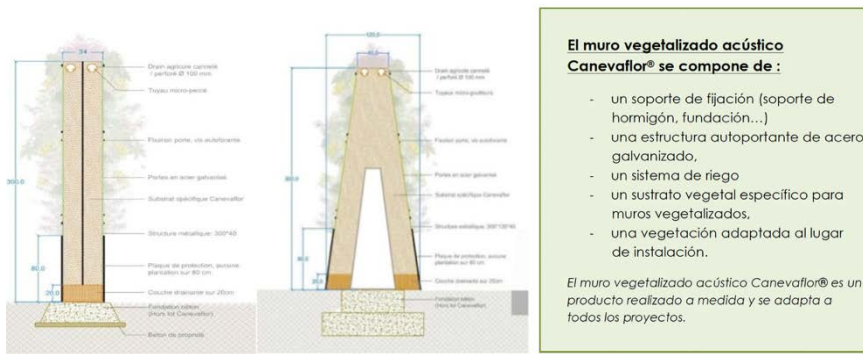


Figura 52: Esquema explicativo del sistema de muro autoportante Canevaflor.

menos invasiva, lo que lo convierte en una alternativa más compatible con la preservación del patrimonio construido. El tercero fue la integración de fachadas verdes (Figura 55), Considerando la necesidad de aplicar intervenciones lo menos invasivas posibles para preservar los valores intrínsecos del patrimonio construido, esta solución se inspiró en las fachadas verdes autoportantes de Canevaflor. Dicho sistema, como su nombre indica, soporta su propio peso y transmite las cargas directamente al suelo, sin adosarse a la fachada, tal como se observa en la Figura 52. Finalmente, se modeló un escenario mezclando todas las propuestas (Figura 56).



Figura 53: Modelo del caso de integración de vegetación.

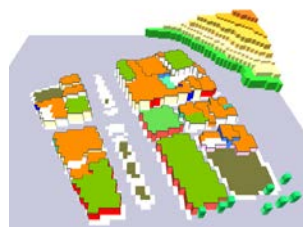


Figura 54: Modelo del caso de integración de techo verde.



Figura 55: Modelo del caso de integración de fachada verde.

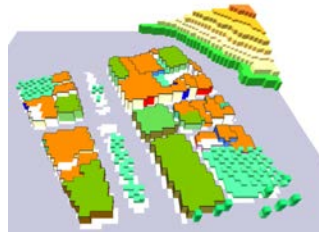


Figura 56: Modelo del caso de integración de mix de vegetación.

4.1.2. Infraestructura azul

La estrategia de infraestructura azul fue una sola, siendo la integración de las fuentes de agua en los espacios públicos para el control del clima, esperando, de ser efectiva, tener un efecto regulador en el microclima (Bell et al., 2022).

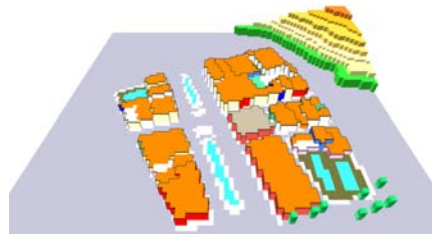


Figura 57: Modelo del caso de integración de agua.

4.1.3. Estrategias de reflectividad

Las estrategias de reflectividad fueron tres en total, siendo el aumento de la reflectividad del pavimento (Figura 58); el segundo escenario consistió en aumentar la reflectividad de las cubiertas de los edificios seleccionados (Figura 59), mientras que el tercero consistió en aumentar la reflectividad de las fachadas (Figura 60).

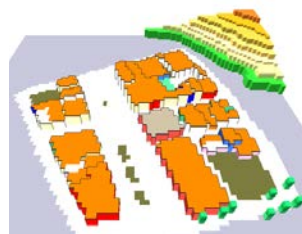


Figura 58: Modelo del caso de aumento de reflectividad en el pavimento.

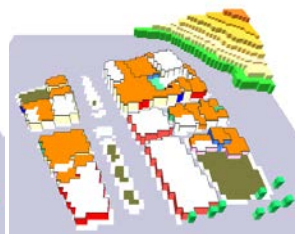


Figura 59: Modelo del caso de aumento de reflectividad en los techos.

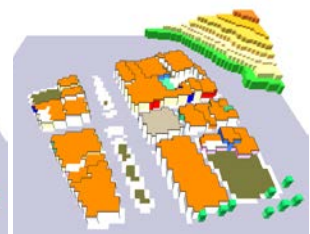


Figura 60: Modelo del caso de aumento de reflectividad en las fachadas.

4.2. Definición de las variables de estudio

Las variables por estudiar mediante las simulaciones dependen principalmente de dos criterios. En primer lugar, los objetivos de esta investigación, es decir, la información que se busca obtener. En segundo lugar, la gama de resultados que el software de simulación climática seleccionado, ENVI-met, es capaz de calcular.

En cuanto al primer criterio, dado que uno de los ejes centrales de esta investigación es la caracterización del clima urbano y la evaluación

de estrategias de mitigación para reducir el efecto de las islas de calor, el análisis se centrará en variables relacionadas con la temperatura.

ENVI-met es un programa sumamente completo; en la Tabla 21 se pueden ver todas las categorías de archivos que entrega el programa al finalizar la simulación; cada uno de estos contiene un gran número de variables climáticas que ha calculado para el modelo. Dado que esta investigación se enfoca en el clima urbano, se toman los archivos “AT” (ver Tabla 22) de datos atmosféricos para el análisis. Dentro del listado de información entregada en estos archivos, se selecciona la variable “temperatura potencial del aire” para el análisis y evaluación de las propuestas de estrategias de intervención a estudiar.

Tabla 21: Descripción general y generalidades de los archivos binarios.

ID	Contenido	Comentario
AT	Datos atmosféricos	Datos 3D, estado principal de la atmósfera con la mayoría de las variables que contiene.
FX	Datos de superficie y flujos de superficie	Datos 2D que describen el estado y los flujos en la superficie del suelo.
SO	Datos del suelo	Datos 3D sobre el estado del modelo de suelo, principalmente la temperatura y el agua del suelo.
VEG	Datos de vegetación	Los datos de la planta, como la temperatura de la hoja en el contexto del modelo 3D, y los datos detallados de las plantas observadas son archivos de texto adicionales. VEG_status tipo (ver más abajo)
BLDG_static	Creación de datos estáticos	Datos estáticos del edificio como las propiedades de los materiales (subcarpeta STATIC).
BLDG	Creación de datos dinámicos	Datos dinámicos del edificio, como las temperaturas de las paredes o el estado de las fachadas (Subcarpeta DYNAMIC)
POLU	Contaminantes	Datos 3D que contienen contaminantes atmosféricos, incluidas las tasas de conversión química, si se utilizan.
RD	Datos de radiación	Datos 3D con información detallada sobre los flujos de radiación de onda corta y onda larga
BIO	Datos de BIO-met	Datos generados por BIO-met
SA	Acceso solar	Datos de acceso solar para el nivel del suelo y Biomet
SAFAC	Acceso solar en fachadas y cubiertas	Acceso solar para fachadas/cubiertas y paredes individuales

Tabla 22: Listado de variables entregados por los archivos AT.

Variable	Unidad	Descripción
Objetos	-	Identificadores de objetos individuales para visualizar el dominio del modelo: 1: edificio, 2: terreno, 4: contiene la fuente, 11-15: vegetación con LAD creciente. Estas definiciones también se almacenan en el archivo de definición de capa especial LEONARDO predeterminado.
Flujo u	m/s	Velocidad del viento. Componente vectorial según el eje Oeste-Este (+: Este, -: Oeste)
Flujo v	m/s	Velocidad del viento. Componente vectorial a lo largo del eje Norte-Sur (+: Norte, -: Sur)
Flujo w	m/s	Velocidad del viento. Componente vectorial a lo largo del eje vertical (+: arriba, -: abajo)
Velocidad del viento	m/s	Velocidad del viento. Suma vectorial en los 3 ejes
Cambio de velocidad del viento	%	Cambio de velocidad del viento en porcentaje con respecto al perfil de entrada no perturbado al mismo nivel de altura.
Dirección del viento	grados	Dirección del viento del componente horizontal en referencia geográfica (0: N..90:E..180:S, etc.).
Perturbación de presión	Pa	Presión dinámica como resultado del cálculo del campo de viento. Los valores de presión se irán sumando con el tiempo; utilice valores de diferencia espacial solo si es necesario.
Temperatura potencial del aire	°C	Temperatura del aire potencial a la presión de referencia (y predeterminada del modelo). Para el modelo 3D, se puede tratar como la temperatura absoluta del aire.
Delta de temperatura del aire	K	Diferencia entre la temperatura del aire local y la temperatura del aire de referencia en la entrada al mismo nivel de altura.
Cambio de temperatura del aire	K/h	Cambios en la temperatura del aire en comparación con el último archivo de salida _AT_
Humedad específica	g/kg	Humedad específica del aire
Humedad relativa	%	Humedad relativa del aire (Precaución: depende tanto de la humedad específica del aire como de la temperatura del aire).
TKE	m ² /m ³	Energía cinética turbulenta local
Disipación	m ³ /m ³	Tasa de disipación local de la energía cinética turbulenta
Temperatura radiante media	°C	Los flujos radiativos compuestos y la temperatura del aire para una persona de pie
Coefficiente de intercambio vertical: impulso	m ² /s	Coefficiente de intercambio vertical calculado para impulso
Coefficiente de intercambio horizontal de impulso	m ² /s	Coefficiente de intercambio horizontal calculado para el impulso (actualmente se supone que para la microescala es igual al coeficiente de intercambio vertical).
Radiación directa de onda corta	W/m ²	Radiación solar directa disponible referida a una superficie de referencia perpendicular a los rayos solares incidentes (valor máximo antes de aplicar la ley de Lambert).
Radiación difusa de onda corta	W/m ²	Radiación solar difusa disponible referida a una superficie de referencia horizontal
Radiación de onda corta reflejada	W/m ²	Radiación solar reflejada disponible del entorno referida a una superficie de referencia horizontal
Cambio de temperatura del aire a través del enfriamiento por agua de baja presión	K/h	Efecto de la divergencia de la radiación de onda larga sobre la temperatura del aire en función del tiempo

Tabla 23: Listado de los índices de confort térmico posibles a calcular con BIO-met.

Índices de confort térmico calculados en BIO-met	Sigla
Voto medio estimado	PMV/PPD
Temperatura fisiológica equivalente	PET
Confort térmico dinámico	dPET
Índice climático térmico universal	UTCI
Índice de temperatura efectiva estándar	SET

4.3. Metodología para el análisis del clima urbano

La metodología de esta investigación tuvo cinco fases principales. La primera es la investigación en terreno, en la que se recolectaron los datos mediante el uso de fotografías de las edificaciones y el área de estudio, y el uso de dron para un levantamiento fotogramétrico para tener una visión más clara de las características y estado de la cubierta; también permite obtener un modelo 3D rápido de la zona para obtener una información más completa y precisa de los edificios y el espacio público.

La siguiente fase fue la investigación de las fuentes; estas significaron la revisión de información en diferentes fuentes disponibles, siendo la más importante para la caracterización del área de estudio la investigación realizada en los archivos de la Oficina Municipal de Construcción en la Municipalidad, y en la base de datos de patrimonio urbano del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2005).

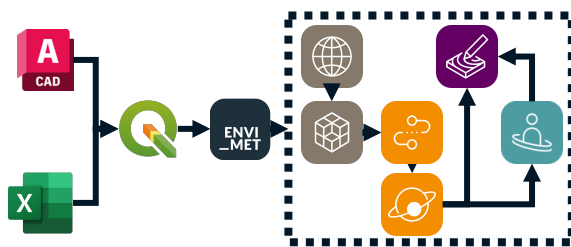


Figura 61: Flujo de trabajo utilizado desde el procesamiento de información inicial hasta la obtención de resultados de simulación.

Una vez finalizada la recolección de datos, la totalidad se procesó en una base de datos creada en Excel, para un acceso más sistemático a la información y su uso en las diversas etapas de la investigación.

Tabla 24: Información de los edificios para levantar el modelo en ENVI-met.

ID	Rol	Altura	Material techo	Material muros
1	114-1	8,12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2047 (LAD Pr EST Azul)
2	114-2	9,86	PH3001 (Zincalum fabrica)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
4	114-7	11,6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
5	114-8	8,81	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
6	114-9	8,8	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
7	114-90010	13,46	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
8	114-20	18,73	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2050 (LAD Pr EST Gris)
9	114-23	10,24	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
10	115-1	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2045 (LAD Pr EST Rojo)
11	115-2	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
12	115-3	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
13	115-4	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2047 (LAD Pr EST Azul)
14	115-5	15,6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
15	115-6	15,2	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
16	115-7	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
17	115-8	12,2	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
18	115-9	9,3	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)
19	115-10	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
20	115-11	9,5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
21	115-12	12	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2053 (Acero Container)
22	115-13	8,5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2045 (LAD Pr EST Rojo)
23	133-1	8,34	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
24	133-2	9,55	PH3001 (Zincalum fabrica)	PV2051 (LAD Pr EST Rosa)
25	133-3	8,5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
26	133-6	10,49	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
27	133-7	10,06	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
28	133-8	7,74	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
29	133-90005	13,14	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2045 (LAD Pr EST Rojo)
30	134-1	11,2	PV2001 (H.A. EST BRUTO)	PV2057 (Ladrillo quemado)
31	135-1	8,5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2043 (LAD Pr EST BInvierno)
32	135-2	10,8	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2050 (LAD Pr EST Gris)
33	135-3	8,4	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)
34	135-4	8	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
35	135-5	7	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
36	135-90009	8,06	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2048 (LAD Pr EST Verde)

37	135-7	6,6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2046 (LAD Pr EST Marfil)
38	135-8	7,1	PH3004 (Zincalum verde)	PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)
39	136-1	11,6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2057 (Ladrillo quemado)
40	137-1	5,7	PH3003 (Zincalum antiguo)	PH3003 (Zincalum antiguo)
41	137-2	6,5	PH3001 (Zincalum fabrica)	PV2051 (LAD Pr EST Rosa)
43	137-4	7,5	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2051 (LAD Pr EST Rosa)
44	137-5	11,6	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)
45	137-6	7,3	PH3003 (Zincalum antiguo)	PV2050 (LAD Pr EST Gris)

Una vez organizados y catalogados todos los datos, se inició la etapa de simulación con el modelado del área de estudio a partir de un plano georreferenciado de la ciudad en AutoCAD; luego en QGIS se vinculó el plano georreferenciado a los valores de la base de datos registrada en Excel, específicamente el número de identificación, altura y materiales de cada edificio. El plano georreferenciado vinculado a la información de la base de datos se guardó en un archivo “shapefile” listo para ser importado a ENVI-met. Finalmente, tras obtener los resultados de la simulación en ENVI-met, comienza la fase final de análisis de los resultados.

4.4. Simulación climática en ENVI-met

Como se estableció, la herramienta de simulación climática utilizada para esta investigación fue ENVI-met; la versión utilizada fue la 5.6.1 Winter23. Este software es un software de simulación de microclima tridimensional, que en su núcleo tiene como objetivo integrar diferentes enfoques y tipos de estudios climáticos para obtener una comprensión más completa del clima urbano de un contexto determinado.

La compleja y completa matriz de cálculo de este software tiene algunas limitaciones en cuanto al proceso de simulación, por lo que las recomendaciones (Shabahang et al., 2021) en el uso de esta herramienta son limitar el área de estudio a un barrio o pequeña porción de una ciudad, y el tiempo máximo de simulación debe ser de alrededor de 24 a 48 horas. Su complejidad puede generar errores durante la simulación, mientras que las limitaciones en su interfaz pueden ralentizar la configuración y el modelado, por lo que es crucial contar con una ventana de calibración prolongada.

4.4.1. Requisitos

El equipo de ENVI-met ha dado varias recomendaciones con respecto al hardware utilizado para ejecutar las simulaciones para aprovechar al máximo las capacidades del software. La recomendación para el uso óptimo del software es tener al menos una CPU moderna de 6 u 8 núcleos, Intel i5-8400, Ryzen 5 1600X o mejor, 32 GB de RAM o más, sistema operativo Windows 10 de 64 bits o superior y más de 100 GB de espacio disponible en disco. Para la simulación realizada para esta investigación se utilizó una computadora portátil HP ENVY 15-ep0001la, con un procesador Intel(R) Core (TM) i7-10750H @ 2.60 GHz, 16 GB de RAM, Windows 11 de 64 bits, y más de 100 GB disponibles en un SSD.

4.4.2. Modelación

Para el estudio de las estrategias de intervención, se parte modelando el caso original, como punto base del análisis comparativo, comparando la mejora de cada escenario con el estado inicial del clima urbano.

Tabla 25: Detalle de la composición de los muros y techos utilizados en ENVI-met.

Material	Espesor [cm]	Capa 1	Capa 2	Capa 3
PH3001 (Zincalum fabrica)	1,1	CU1008 (Zincalum Fabrica)	CU1008 (Zincalum Fabrica)	ES1007 (Tabique madera 2x3)
PH3003 (Zincalum antiguo)	1,1	CU1009 (Zincalum Antiguo)	CU1009 (Zincalum Antiguo)	ES1007 (Tabique madera 2x3)
PH3004 (Zincalum verde)	1,1	CU10101 (Zincalum Verde)	CU10101 (Zincalum Verde)	ES1007 (Tabique madera 2x3)
PV2001 (H.A. EST BRUTO)	21	ES1001 (Hormigon Armado)	ES1001 (Hormigon Armado)	ES1001 (Hormigon Armado)
PV2043 (LAD Pr EST Blnvierno)	15,1	RE1002 (Esmalte Blanco Invierno)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2045 (LAD Pr EST Rojo)	15,1	RE1004 (Esmalte Rojo)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2046 (LAD Pr EST Marfil)	15,1	RE1005 (Esmalte Marfil)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2047 (LAD Pr EST Azul)	15,1	RE1006 (Esmalte Azul)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2048 (LAD Pr EST Verde)	15,1	RE1005 (Esmalte Verde)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2050 (LAD Pr EST Gris)	15,1	RE1006 (Esmalte Gris)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2051 (LAD Pr EST Rosa)	15,1	RE1007 (Esmalte Rosa)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2052 (LAD Pr EST Azul imperial)	15,1	RE1011 (Esmalte Azul Imperial)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)
PV2053 (Acero Container)	1,05	RE1002 (Esmalte Blanco Invierno)	0100ST (Steel)	0100ST (Steel)

Dentro de ENVI-met, existen varios subprogramas para los diferentes pasos en el proceso de simulación. El primero de estos utilizado fue “Monde”, el cual funciona como una herramienta de importación para el software principal. Después de importar el archivo “shapefile” previamente obtenido, se estableció la configuración del mapa, utilizando un tamaño de mapa de 350x350 metros, y el tamaño de las celdas de la cuadrícula en metros corresponde a $dx=4$, $dy=4$ y $dz=3$. Luego de transformar los datos importados al formato adecuado utilizado en ENVI-met, el trabajo continúa en “Spaces”; es aquí donde se realizaron los pasos finales de diseño del modelo, el tipo de suelo presente, la vegetación en el área de estudio y, posteriormente, la integración de diferente vegetación de acuerdo con las propuestas de intervención.

Tabla 26: Características físicas de los materiales de ENVI-met utilizados en el modelo.

Material (Compuesto)	Absorption	Transmission	Reflection	Emissivity	Specific Heat	Thermal Conductivity	Density
CU1008 (Zincalum Fabrica)	0,65	0,00	0,35	1,30	880	203	2700
CU1009 (Zincalum Antiguo)	0,90	0,00	0,10	2,00	880	203	2700
CU10101 (Zincalum Verde)	0,76	0,00	0,24	1,80	880	203	2700
RE1002 (Esmalte Blanco Invierno)	0,14	0,00	0,86	0,95	1470	0,20	1440
RE1004 (Esmalte Rojo)	0,63	0,00	0,37	0,95	1470	0,20	1440
RE1005 (Esmalte Marfil)	0,21	0,00	0,79	0,95	1470	0,20	1440
RE1006 (Esmalte Azul)	0,88	0,00	0,12	0,95	1470	0,20	1440
RE1005 (Esmalte Verde)	0,51	0,00	0,49	0,95	1470	0,20	1440
RE1006 (Esmalte Gris)	0,40	0,00	0,60	0,95	1470	0,20	1440
RE1007 (Esmalte Rosa)	0,40	0,00	0,60	0,95	1470	0,20	1440
RE1011 (Esmalte Azul Imperial)	0,55	0,00	0,45	0,95	1470	0,20	1440
ES1002 (Ladrillo prensado en máquina)	0,60	0,00	0,40	0,90	840	0,30	1000
ES1001 (Hormigón armado)	0,70	0,00	0,30	0,90	840	1,30	2000
ES1007 (Tabique madera 2x3)	0,42	0,12	0,46	0,90	1209	0,87	1687
0100ST (Steel (one layer))	0,30	0,00	0,70	0,10	420	45	8000

Tabla 27: Características físicas de los suelos de ENVI-met utilizados en el modelo.

Suelos	Albedo	Emissivity
0000PG (Concrete Pavement Gray)	0,30	0,90
0000PP (Pavement (Concrete), used/dirty)	0,25	0,90
0100PW (Pavement White)	0,80	0,95

4.4.3. Configuración de simulación

La herramienta de simulación dentro de ENVI-met se llama ENVI-guide y se utiliza para establecer las configuraciones de simulación, que son la fecha y la información climática. Los datos climáticos para la simulación se obtuvieron de "Climate.OneBuilding", mientras que la fecha de simulación se establece para el solsticio de verano a partir de las 9:00 AM por un período de 24 horas, ya que se espera que sea una fecha representativa para el día más caluroso. Cada simulación tardó alrededor de 12 horas en completarse.

4.4.4. Limitaciones del software

La complejidad del número de variables involucradas en la comprensión del clima urbano es innegable, y la capacidad de ENVI-met para procesar estos valores simultáneamente constituye un avance notable, sin embargo, la complejidad del cálculo requerido para obtenerlo también conlleva algunas limitaciones; por ejemplo, la pequeña zona que se puede modelar con el software y el corto período de tiempo que se puede estudiar en una simulación. Incluso con los equipos más avanzados, ir más allá de un barrio o un par de días podría llevar desde varios días hasta más de una semana para la ejecución de la simulación, dependiendo del nivel de detalle utilizado. Por lo tanto, la selección de la ubicación y los límites geográficos del área de estudio son esenciales.

5. Discusión de resultados

5.1. Máximo efecto en la variación de temperatura

Después de ejecutar la simulación para cada estrategia, los resultados se interpretaron en Leonardo, otro de los subprogramas de ENVI-met. Aquí se generaron mapas para las 09:00, 13:00, 17:00, 21:00 y 01:00, los cuales mostraron la diferencia de temperatura potencial del aire de cada estrategia, comparándolas con el caso original; la altura a la que se realizaron estos análisis es de 1.50 metros. La escala de medición para los gráficos fue de diez niveles, comenzando en 0,00 y agregando 0,06 °C en cada paso (ver Figura 62).

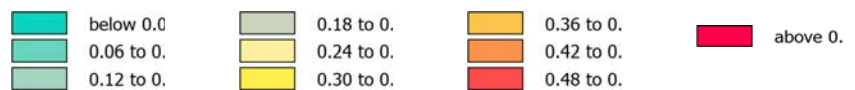


Figura 62: Detalle de los niveles del esquema de colores para el análisis comparativo de la temperatura potencial del aire entre el caso original y cada una de las estrategias de intervención.

5.1.1. Infraestructura Verde

Tabla 28: Resultados de la integración de estrategias de infraestructura verde, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original.

Estrategias	09:00	13:00	17:00	21:00	01:00
Vegetación					
Techo Verde					
Fachada Verde					
Mezcla de infraestructuras verdes					

Los efectos de cada estrategia de intervención presentan resultados similares en términos de los valores máximos alcanzados. No obstante, el rango del área de influencia de cada intervención varía significativamente. En cuanto a los valores máximos puntuales (ver Tabla 28), la integración de vegetación registra el mayor incremento, con 0.55°C a las 17:00 horas; sin embargo, los resultados más relevantes de estas simulaciones se obtienen al combinar todas las estrategias previamente analizadas, como era de esperarse. Esta integración logra la mayor área de influencia y el mayor incremento en la diferencia de temperatura potencial del aire, alcanzando 0.76°C a las 17:00 horas.

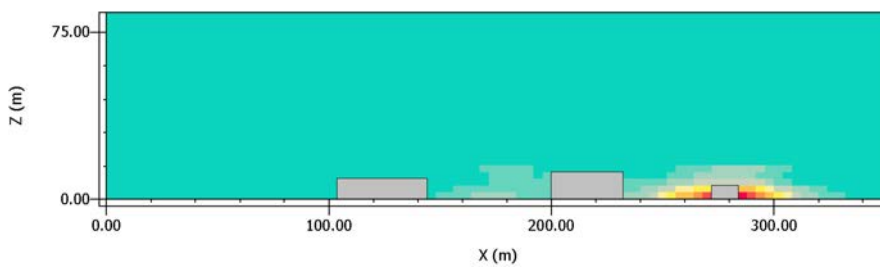


Figura 63: Resultados de la integración de vegetación, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=29$, a las 17:00.

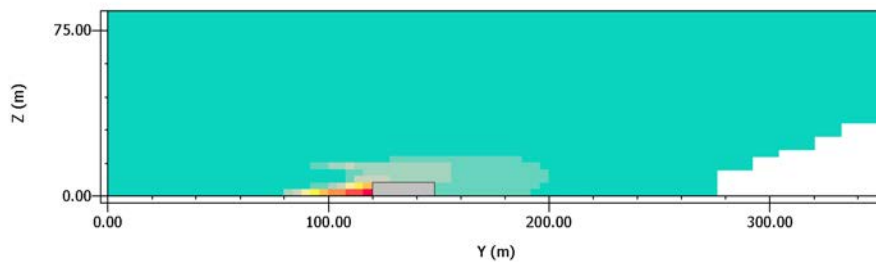


Figura 64: Resultados de la integración de vegetación, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=71$, a las 17:00.

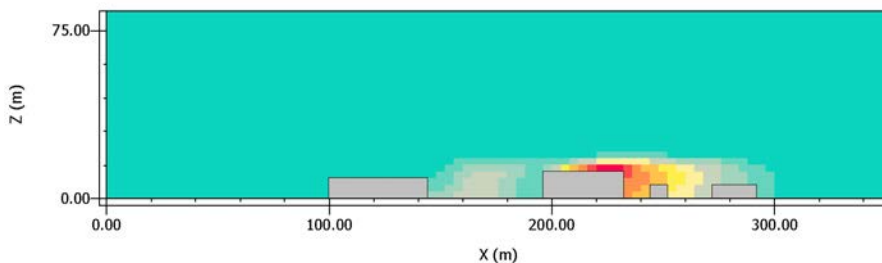


Figura 65: Resultados de la integración de techo verde, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=30$, a las 01:00.

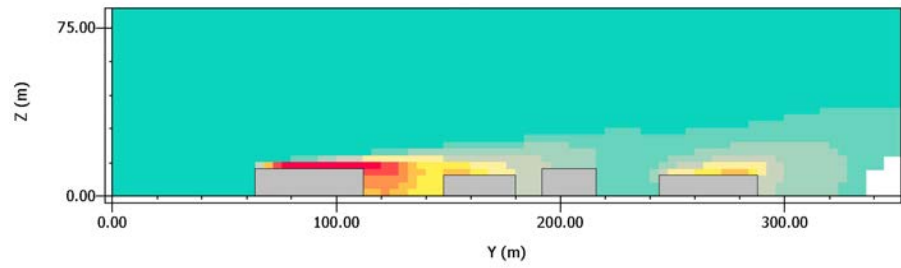


Figura 66: Resultados de la integración de techo verde, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=58$, a las 01:00.

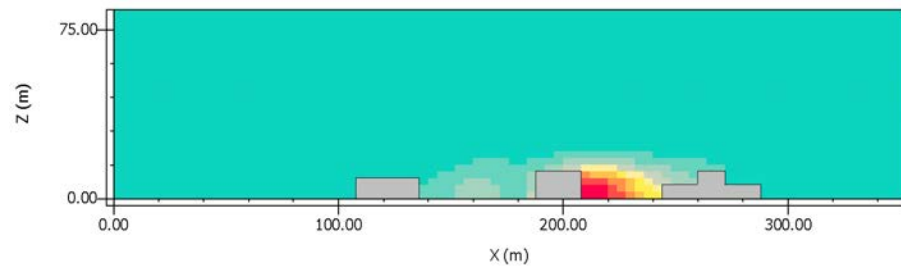


Figura 67: Resultados de la integración de fachada verde, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=34$, a las 17:00.

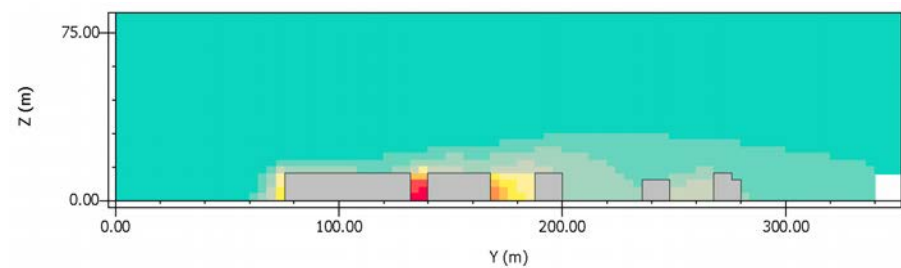


Figura 68: Resultados de la integración de techo verde, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=53$, a las 17:00.

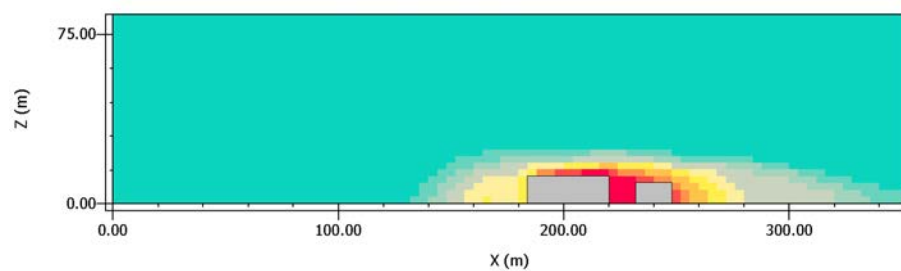


Figura 69: Resultados de la integración de mix de vegetación, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=37$, a las 17:00.

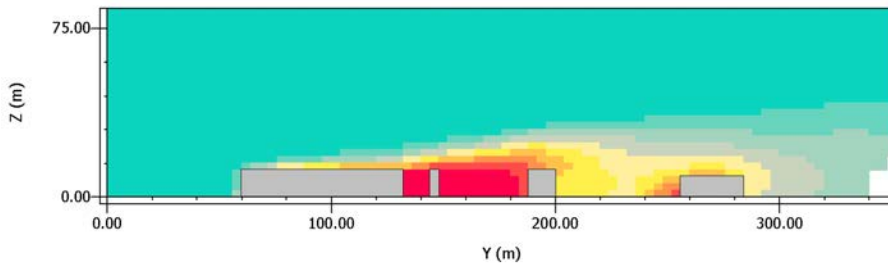


Figura 70: Resultados de la integración de vegetación, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=55$, a las 17:00.

5.1.2. Infraestructura Azul

Tabla 29: Resultados de la integración de estrategias de infraestructura azul, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original.

Estrategias	09:00	13:00	17:00	21:00	01:00
Integración de agua					

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 29), el impacto en cuanto a la integración de la infraestructura azul no es increíblemente significativo, ni en el alcance en el área de influencia ni en la diferencia máxima de temperatura potencial del aire alcanzada, obteniendo una diferencia máxima de solo $0,13^{\circ}\text{C}$ a las 17:00 horas. Estos resultados pueden relacionarse con la cercanía de la zona de estudio con el Océano Pacífico por la costa (Figura 20).

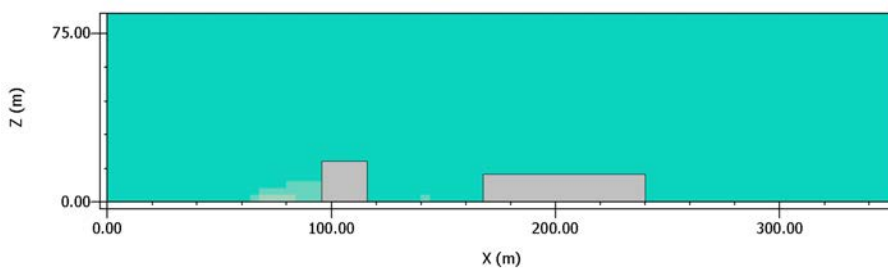


Figura 71: Resultados de la integración de agua, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=48$, a las 13:00.

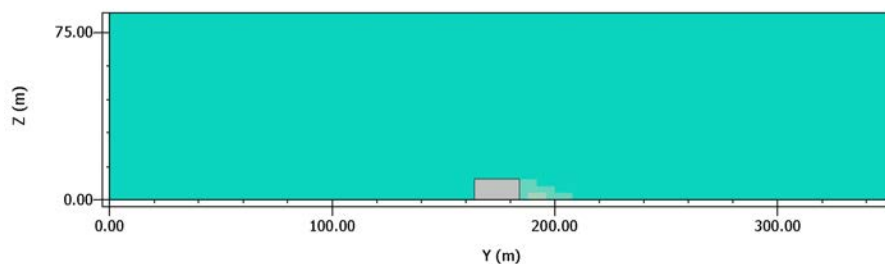


Figura 72: Resultados de la integración de agua, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=18$, a las 13:00.

5.1.3. Estrategias de reflectividad

Tabla 30: Resultados de la integración de estrategias de intervención en reflectividad, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original.

Estrategias	09:00	13:00	17:00	21:00	01:00
Pavimento					
Techo					
Fachada					

Las estrategias de reflectividad fueron tres en total, siendo el aumento de la reflectividad del pavimento; el segundo escenario consistió en aumentar la reflectividad de las cubiertas de los edificios seleccionados, mientras que el tercero consistió en aumentar la reflectividad de las fachadas.

Los efectos de cada una de las estrategias de intervención en las cubiertas y las fachadas dan resultados similares en cuanto a los máximos conseguidos para cada intervención, y los máximos en la diferencia de aire potencial conseguida (ver Tabla 30); sin embargo, la intervención en la calle tuvo un mayor impacto en el rango de área de efecto y en la

diferencia de temperatura del aire potencial máxima alcanzada a 0.54°C a las 17:00 horas.

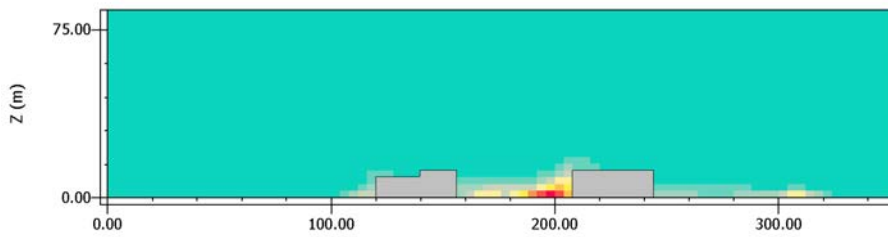


Figura 73: Resultados del aumento de la reflectividad en el pavimento, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=22$, a las 17:00.

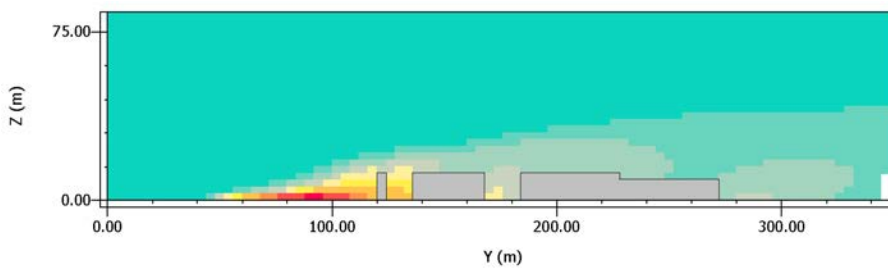


Figura 74: Resultados del aumento de la reflectividad en el pavimento, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=49$, a las 17:00.

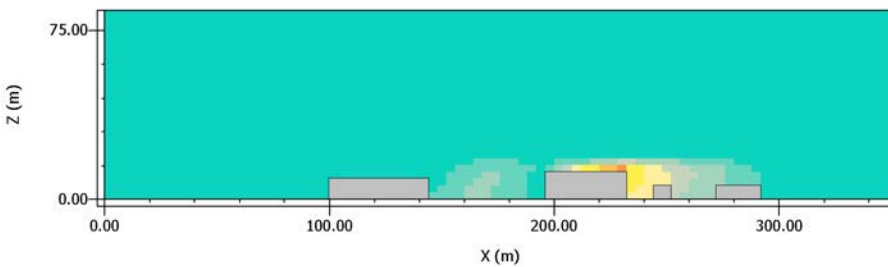


Figura 75: Resultados del aumento de la reflectividad en el techo, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=30$, a las 01:00.

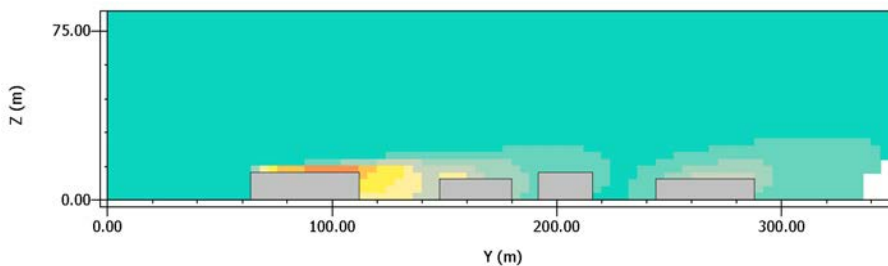


Figura 76: Resultados del aumento de la reflectividad en el techo, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=58$, a las 01:00.

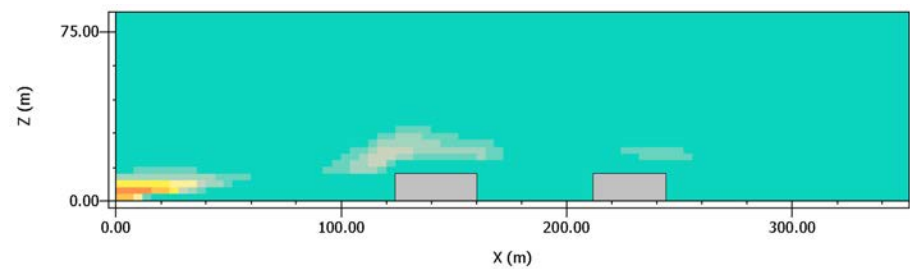


Figura 77: Resultados del aumento de la reflectividad en la fachada, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano XZ cortado en $j=20$, a las 21:00.

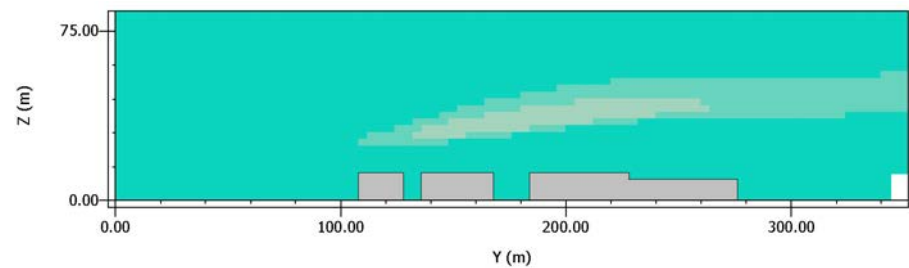


Figura 78: Resultados del aumento de la reflectividad en la fachada, comparando la temperatura potencial del aire con el caso original. Plano YZ cortado en $i=50$, a las 21:00.

5.1.4. Síntesis de resultados

Todas las estrategias tuvieron al menos alguna efectividad hacia el objetivo de control del clima urbano; sin embargo, hay un tipo claro de estrategias que tuvieron un efecto mayor y más extenso en el tejido urbano, y es la integración de la infraestructura verde. Con respecto a estos resultados, es importante entender la forma en que estas estrategias se complementan entre sí. Por ejemplo, la integración de la vegetación y la integración de la fachada verde se comportaron de manera similar entre las 13:00 y la 01:00, pero después de ese momento, el efecto de la vegetación comenzó a elevarse nuevamente, mientras que el efecto de la fachada verde comenzó a decaer; es decir, existe un claro comportamiento complementario que debe ser aprovechado para obtener el mejor resultado posible para el control del clima urbano, en el momento de planificar las intervenciones sobre la trama urbana (Tseliou et al., 2022). La estrategia más efectiva fue por lejos la infraestructura verde mixta con una diferencia potencial de temperatura del aire de $0,76^{\circ}\text{C}$ que se alcanzó a las 17:00; la segunda mejor, muy por detrás, es la estrategia de la fachada verde con una diferencia de $0,57^{\circ}\text{C}$ que se alcanzó también a las 17:00, y al final de la lista, la estrategia menos efectiva fue la integración de la infraestructura azul con solo una diferencia de $0,13^{\circ}\text{C}$ a las 13:00.

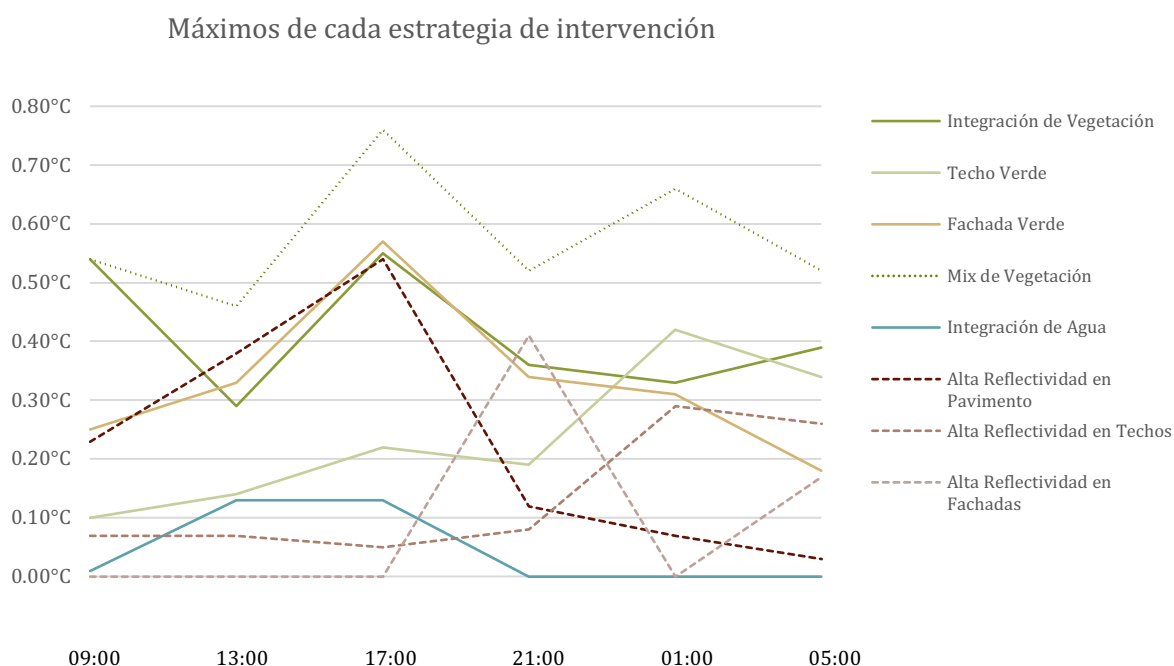


Figura 79: Máximos alcanzados para cada intervención a lo largo de la ventana de 24 horas.

Tabla 31: Resumen de los máximos en la diferencia potencial de temperatura del aire entre el caso original y cada intervención, marcando la estrategia con mayor efecto en azul claro.

Principales estrategias	Estrategias detalladas	Diferencia máxima en la temperatura potencial del aire	Hora
Infraestructura Verde	Vegetación	0.55	17:00:00
	Techo Verde	0.42	1:00:00
	Fachada Verde	0.57	17:00:00
	Vegetación mixta	0.76	17:00:00
Infraestructura Azul	Integración de agua	0.13	13:00:00
Estrategias de reflectividad	Pavimento	0.54	17:00:00
	Techo	0.29	1:00:00
	Fachada	0.41	21:00:00

5.2. Rango de efecto en la variación de temperatura

Una vez analizada la máxima diferencia de temperatura alcanzada, el siguiente paso en la investigación fue evaluar el rango de efecto de cada estrategia. La Figura 80 presenta un resumen del porcentaje de área afectada en cada rango de diferencia de temperatura potencial del aire, mientras que la Tabla 32 detalla esta información.

Según este criterio, la estrategia con mejor desempeño fue nuevamente el mix de vegetación, con un 53% del área experimentando una diferencia de temperatura superior a 0,3°C. Le siguió la estrategia de reflectividad del pavimento, con un 40% de rango de efecto. En contraste,

las estrategias de integración de agua, reflectividad en techos y reflectividad en fachadas no tuvieron impacto en variaciones de temperatura superiores a 0,3°C.

Tabla 32: Detalle de los resultados del rango de efecto en la variación de temperatura para todos los escenarios.

Caso	0.06 <	0.06 - 0.12	0.12 - 0.18	0.18 - 0.24	0.24 - 0.3	0.3 - 0.36	0.36 - 0.42	0.42 - 0.48	0.48 - 0.54	> 0.54
Integración de vegetación (17:00)	42%	31%	11%	4%	4%	3%	3%	2%	1%	0%
Techo Verde (01:00)	24%	21%	20%	11%	10%	8%	6%	0%	0%	0%
Fachada Verde (17:00)	25%	32%	15%	6%	3%	9%	4%	3%	3%	1%
Mix de vegetación (17:00)	21%	9%	7%	6%	4%	14%	8%	4%	5%	22%
Integración de Agua (13:00)	87%	10%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Reflectividad de pavimento (17:00)	17%	9%	14%	14%	6%	14%	7%	10%	8%	1%
Reflectividad de techos (01:00)	32%	36%	11%	12%	9%	0%	0%	0%	0%	0%
Reflectividad de fachadas (21:00)	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Diferencia de la temperatura potencial del aire a la hora de máximo efecto

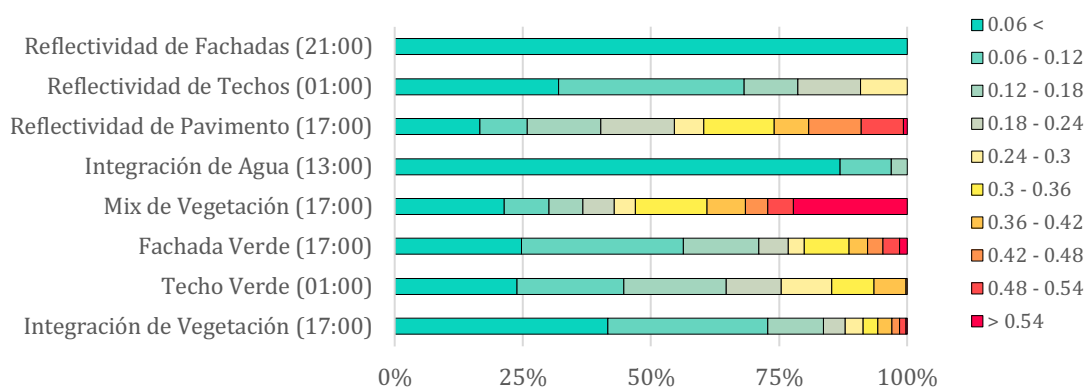


Figura 80: Síntesis de los resultados del rango de efecto en la variación de temperatura para todos los escenarios.

5.3. Índices de confort térmico

Si bien trabajar con un área de estudio reducida permitió evaluar un número considerable de variables, las cuales caracterizan al caso y proponen varias estrategias de intervención, era esperable que los

efectos alcanzados, por importantes que fueran, no tuvieran un efecto prominente para la totalidad del clima urbano. Es por esto que otro factor de evaluación que es integrado a la investigación es el de índices de confort térmico, moviendo el foco de atención de los indicadores climáticos de temperatura hacia el efecto del clima en las personas y cómo estas lo perciben. Los índices de confort térmico funcionan evaluando los efectos de distintas variables climáticas en las personas, específicamente, temperatura del aire (T), humedad (H), velocidad del viento (v) y temperatura media radiante, (T_{mr}), las otras variables que afectan la percepción del clima son relacionados con la persona en sí misma, éstas son la actividad que está realizando (met) y la ropa que está usando (clo), el conjunto de estos factores se les conoce como los “seis parámetros básicos”, mientras que la combinación específica de los seis parámetros básicos constituye el “entorno térmico humano” que experimenta una persona, y así la percepción que tiene una persona respecto a su entorno término humano se define como su “sensación térmica” (Fischereit & Schlünzen, 2018).

Una de las ventajas que proporciona el software ENVI-met es que, una vez simulados los escenarios en su subprograma ENVI-core, los resultados obtenidos pueden ser analizados por otro de sus subprogramas, BIO-met, el cual puede calcular una amplia variedad de índices de confort térmico (Tabla 23) a partir de estos resultados iniciales.

Dentro de las opciones otorgadas por BIO-met, se decide trabajar con el índice de “voto medio previsto” (PMV) para los siguientes análisis. Este índice, como su nombre lo describe, busca predecir la percepción media de un grupo de personas sobre el clima, utilizando una escala de sensación térmica de 7 puntos, donde +3 significa sentir calor, y -3 significa tener una percepción de frío, siendo 0 el estado neutro o de confort. Es así como se considera que con un PMV entre -1 y +1, el 75% de las personas están en una situación de confort (ABCB, n.d.), por lo cual este es el rango en el cual se enfocará la atención para el siguiente caso comparativo de los resultados de cada estrategia de intervención.

5.3.1. Estado actual

Con el fin de poder evaluar el alcance de las mejoras en el confort de cada estrategia de intervención, primero se calcularon los valores de PMV para el caso original, como se puede ver en la Figura 81. El horario de las 13:00 fue seleccionado al ser el de mayor impacto en la mayoría de los casos. Acorde a lo descrito anteriormente, se elige el rango entre -1 a 0 y de 0 a 1 como el rango en conjunto de confort térmico; así, para este caso, el porcentaje del área de estudio en este rango de PMV es del 58%.

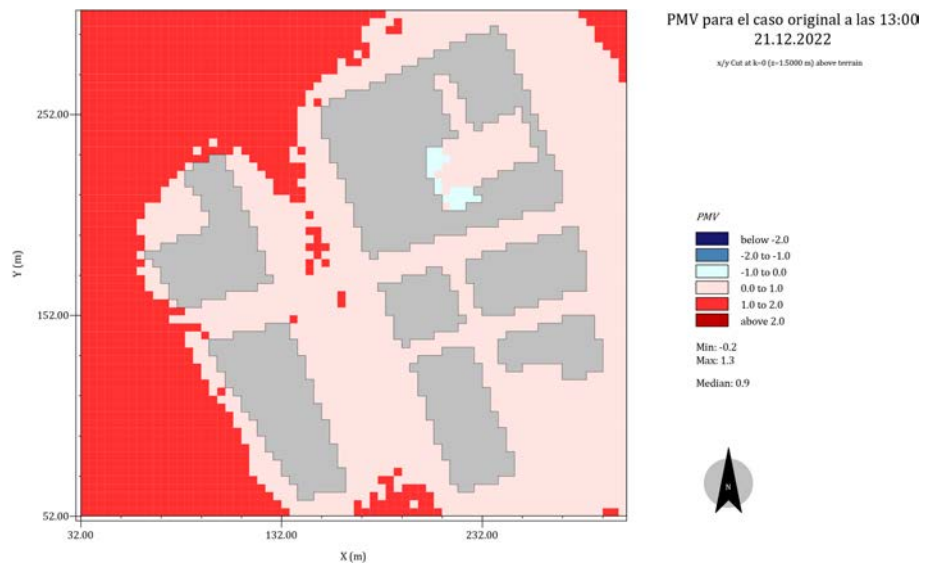


Figura 81: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso original.

5.3.2. Infraestructura Verde

En el caso de las estrategias de integración de infraestructura verde, los resultados fueron bastante similares, excepto para el caso de techo verde (Figura 83), e), el cual tuvo un 0% de mejora para el índice PMV respecto al caso original. Los casos de integración de vegetación (Figura 82) e integración de fachadas verdes (Figura 84) solo variaron en un 1%, siendo el resultado de mejora de integración de vegetación de un 3%, mientras que el de fachadas verdes de un 2%. Al igual que en los análisis anteriores, el escenario con mayores mejoras respecto al caso original fue la estrategia que integraba todas las otras, el mix de vegetación (Figura 85), alcanzando una mejora del 4%.

Estrategias de intervención para el control del clima urbano

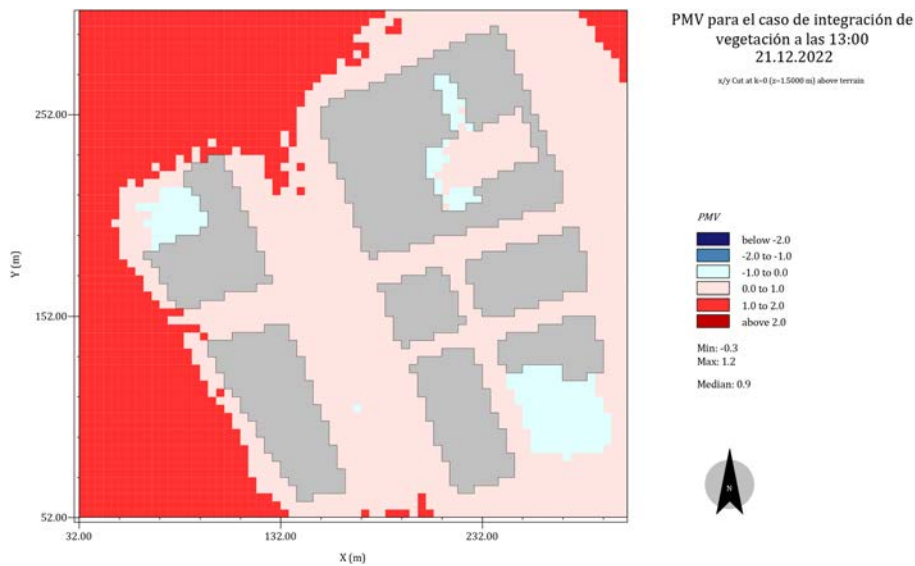


Figura 82: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de integración de vegetación.

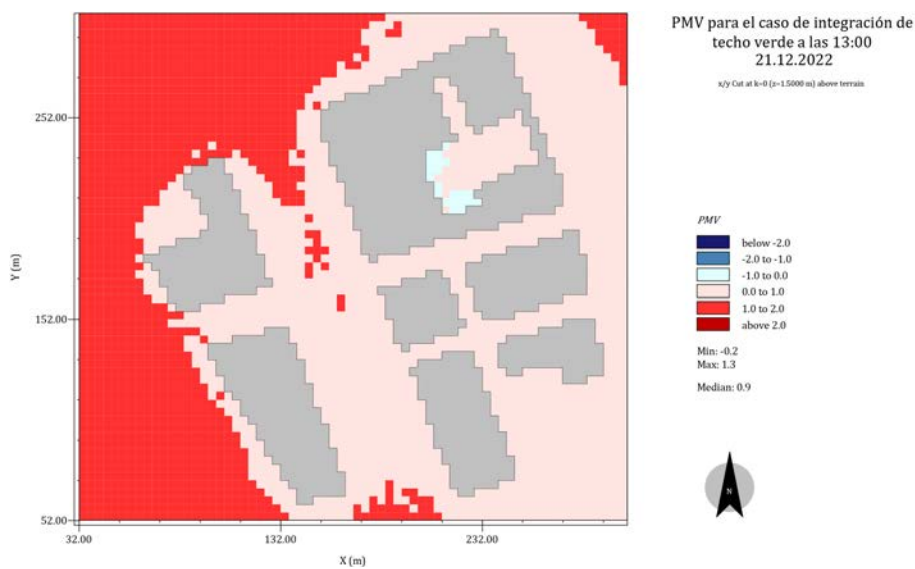


Figura 83: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de integración de techo verde.

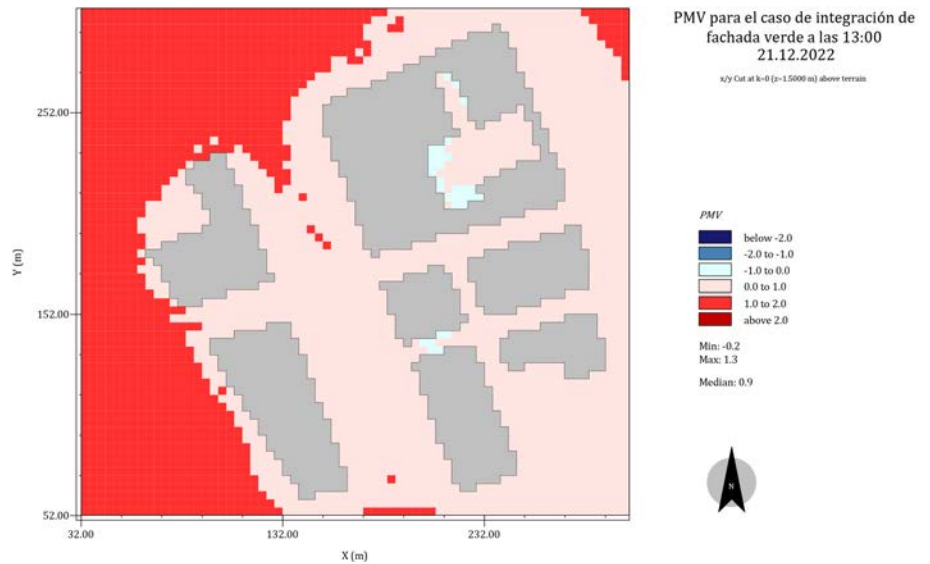


Figura 84: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de integración de fachada verde.

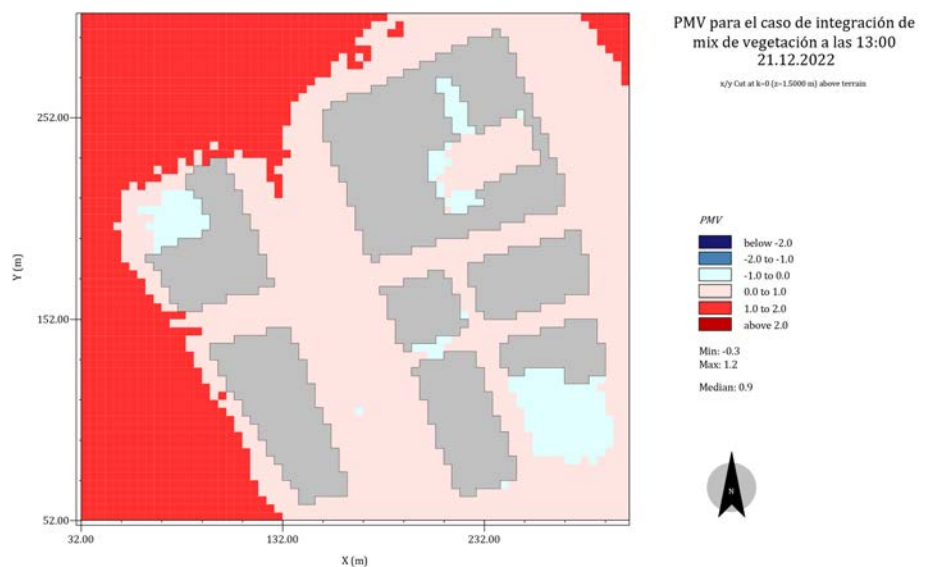


Figura 85: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de integración de mix de vegetación.

5.3.3. Infraestructura Azul

En cuanto a la estrategia de infraestructura azul, la integración de agua (Figura 86), nuevamente no produjo grandes avances respecto del caso original, logrando una mejora para el índice PMV tan solo del 1%.

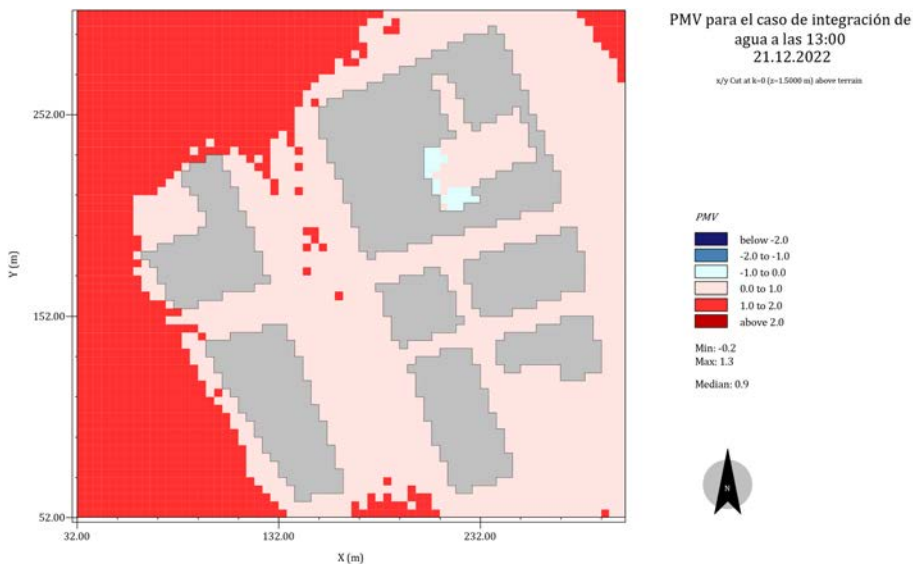


Figura 86: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de integración de agua.

5.3.4. Estrategias de reflectividad

Los resultados de las variaciones en el índice PMV para las estrategias de aumento de reflectividad fueron, sin duda, los más interesantes, dado que no solo presentaron grandes variaciones entre los casos, sino que además uno de estos obtuvo resultados negativos, indicando un retroceso en la calidad de confort indicada por el índice PMV. El primero de estos casos, el aumento de la reflectividad en el pavimento (Figura 87), obtuvo una variación respecto al caso original de -14%, siendo la única de las estrategias de intervención la cual obtuvo peores resultados para el índice PMV. La estrategia de aumento de reflectividad de los techos (Figura 88), como era de esperarse, no tuvo un impacto en el índice de confort, considerando la diferencia de altura existente entre la calle (en la cual se mide el índice PMV) y los techos de los edificios (en los cuales se aplica esta estrategia en particular), así obteniendo una variación de 0%. Por último, el tercer caso de estas estrategias, el aumento de reflectividad en las fachadas (Figura 89), obtuvo una mejora respecto al caso original de un 17%, siendo así la estrategia con el mayor porcentaje de mejora, logro aún más relevante considerando que el segundo puesto, la integración de mix de vegetación, alcanzó tan solo un 4% de mejora.

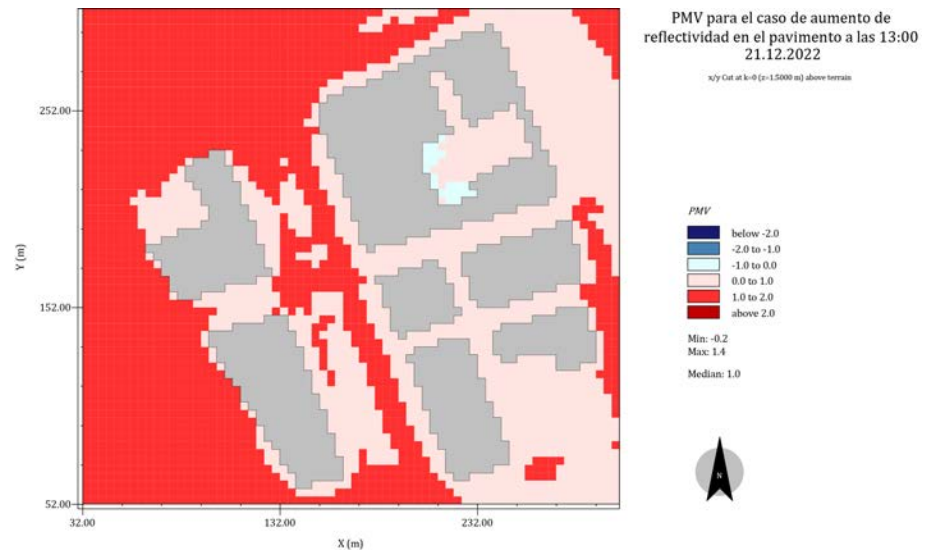


Figura 87: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de aumento de reflectividad en el pavimento.

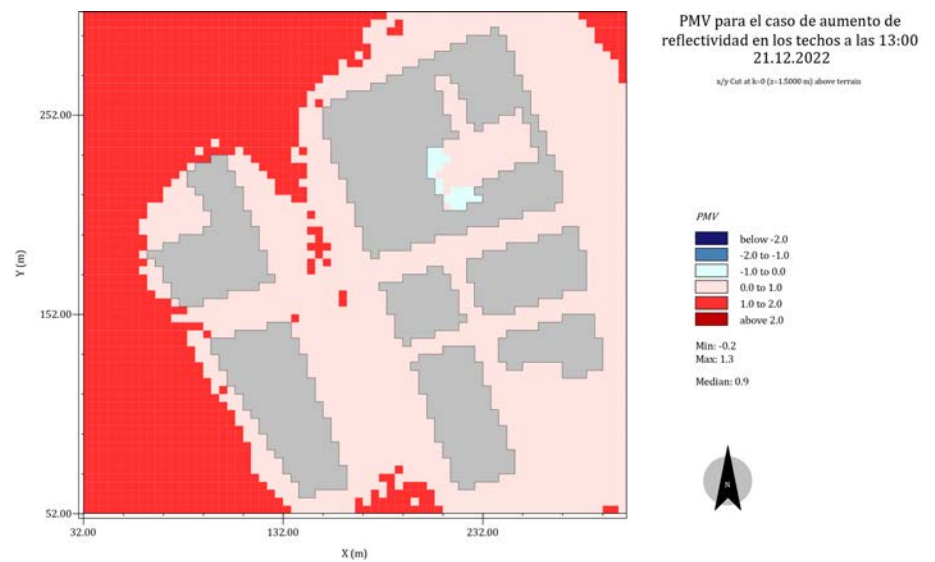


Figura 88: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de aumento de reflectividad en los techos.

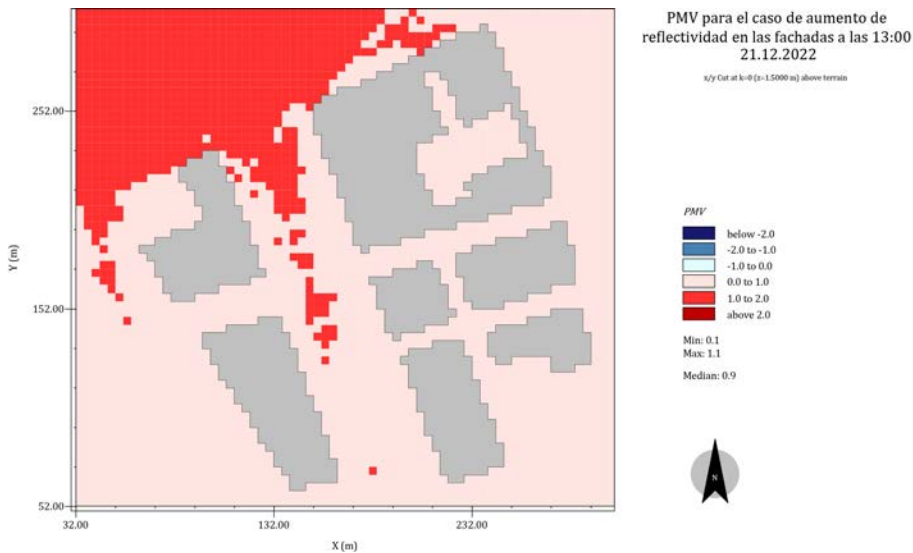


Figura 89: Zonificación del área de estudio según el índice PMV para el caso de aumento de reflectividad en las fachadas.

5.3.5. Síntesis de resultados

El análisis del índice de PMV para el área de estudio ha logrado entregar una diferencia significativa en sus resultados, a diferencia de los análisis anteriores, en los cuales todas las estrategias tuvieron algún nivel de

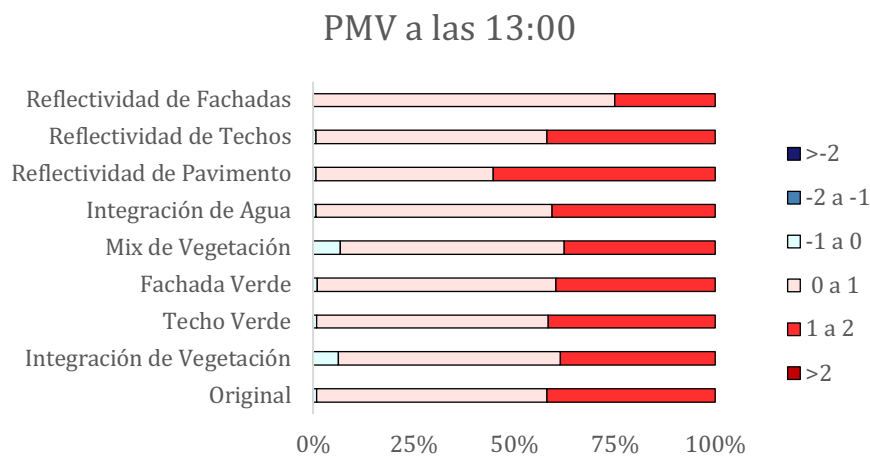


Figura 90: Síntesis de los resultados de PMV para todos los escenarios.

éxito, sin tener grandes diferencias entre cada una. En la Figura 90 se puede observar un resumen gráfico de los resultados de PMV para cada uno de los casos, mientras que en la Tabla 33 se presenta el detalle de porcentajes por cada rango para cada uno de los casos. Reiterando lo discutido previamente, los únicos casos en los cuales no se generó ningún impacto en el índice PMV fueron las estrategias de intervención en techo,

en infraestructura verde y en aumento de reflectividad, ambas con 0% de diferencia respecto al caso original, resultado esperable dada la diferencia de altura tomada para el nivel de calle, 1.5 metros desde el nivel de suelo, con la altura de los techos de los edificios. Por otra parte, el mejor resultado, supera con creces al siguiente mejor, con una diferencia de 13% respecto a este, mientras que el peor caso obtiene un PMV un 14% inferior en comparación con el caso original.

Tabla 33: Detalles de los resultados de PMV para todos los escenarios.

Caso	>-2	-2 a -1	-1 a 0	0 a 1	1 a 2	>2	Δ
Original	0%	0%	1%	57%	42%	0%	0%
Integración de vegetación	0%	0%	6%	55%	38%	0%	3%
Techo Verde	0%	0%	1%	58%	42%	0%	0%
Fachada Verde	0%	0%	1%	59%	40%	0%	2%
Mix de vegetación	0%	0%	7%	56%	37%	0%	4%
Integración de agua	0%	0%	1%	59%	41%	0%	1%
Reflectividad de pavimento	0%	0%	1%	44%	55%	0%	-14%
Reflectividad de techos	0%	0%	1%	57%	42%	0%	0%
Reflectividad de fachadas	0%	0%	0%	75%	25%	0%	17%

5.4. Jerarquización de las variables

Los análisis multivariantes entregan resultados considerablemente más completos y ciertamente más cercanos a la realidad que estudian; es por esto por lo que hoy en día son cada vez más preferidos a las alternativas. Este tipo de análisis, sin embargo, implica varias complejidades que hay que resolver con el fin de poder implementarlos, siendo una de las principales, las posibles combinaciones a estudiar a partir de las variables. En este estudio, por ejemplo, se utilizaron 3 estrategias de integración de vegetación (no se considera la mezcla de las intervenciones base en el mix de vegetación), 1 estrategia de integración de agua y 3 estrategias de aumento en la reflectividad de las superficies, dando 7 posibles estrategias a implementar, las cuales pueden implementarse o no en paralelo, en la Tabla 34 se puede visualizar los posibles escenarios a combinar, al realizar el cálculo de posibles combinaciones se obtiene que con estas variables se podría obtener un total de 128 escenarios distintos a modelar, los cuales evidentemente no son factible de simular en su totalidad, considerando los recursos limitados con los cuales se trabajó en esta investigación, por lo que la

jerarquización de las variables de estudios y los distintos resultados obtenidos a partir de los escenarios base simulados es imprescindible.

Tabla 34: Escenarios a partir de las posibles combinaciones de las estrategias de intervención simuladas.

Estrategias	Infraestructura Verde			Infraestructura Azul	Estrategias de reflectividad		
	Vegetación	Techo Verde	Fachada Verde	Integración de agua	Pavimento	Techo	Fachada
Implementación	Sí	1	1	1	1	1	1
	No	0	0	0	0	0	0

5.4.1. Proceso Analítico Jerárquico (AHP): Metodología

Para esta investigación se utilizó el modelo de jerarquización El Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) desarrollado por Thomas L. Saaty (Goepel, 2013). Este método es utilizado para evaluar y priorizar alternativas cuando hay múltiples criterios involucrados, con el objetivo de ayudar a quienes toman decisiones a estructurar problemas complejos, cuantificar criterios subjetivos y encontrar la mejor opción basándose en comparaciones matemáticas. La metodología AHP consta de 5 pasos:

(i) Definición del problema y estructuración jerárquica

El problema se divide en una jerarquía con tres niveles principales:

Tabla 35: Niveles principales del problema.

Niveles	
Objetivo	Lo que se busca lograr.
Criterios y subcriterios	Factores que influyen en la decisión.
Alternativas	Opciones entre las cuales se tomará una decisión.

(ii) Comparaciones por pares

Los criterios y alternativas se comparan dos a dos según su importancia relativa con base en una escala de 1 a 9 propuesta por Saaty:

Tabla 36: Descripción de los puntajes para la comparación por pares.

Puntaje	Descripción
1	Igual de importante
3	Moderadamente más importante
5	Fuertemente más importante
7	Muy fuertemente más importante
9	Extremadamente más importante
2, 4, 6, 8	Los valores intermedios se usan cuando la importancia está entre dos valores

(iii) Cálculo de prioridades (Pesos relativos)

Se construye una matriz de comparación, y a partir de ella se calcula un vector de prioridades, que representa la importancia relativa de cada criterio o alternativa. Esto puede hacerse mediante métodos como el método del autovector principal (EVM) y el método del promedio geométrico (RGMM).

(iv) Evaluación de la consistencia

Para asegurar la coherencia en los juicios de los tomadores de decisiones, se calcula el Índice de Consistencia (CI) y el Índice de Consistencia Relativo (CR).

Tabla 37: Detalle del índice de Consistencia Relativa (CR).

CR	
< 0.1	Los juicios son consistentes.
> 0.1	Se recomienda revisar y ajustar las comparaciones.

(v) Incorporación de juicios y toma de decisión

Si hay varios tomadores de decisiones, sus juicios se combinan mediante el promedio geométrico para obtener un consenso. Finalmente, las alternativas se priorizan en función de los pesos calculados y se elige la mejor opción.

Ventajas y limitaciones

Una metodología de esta complejidad inevitablemente presenta tanto ventajas como limitaciones, las cuales se resumen en la Tabla 38.

Tabla 38: Esquema comparativo entre las ventajas y limitaciones de la metodología AHP.

Ventajas	Limitaciones
Estructura clara y jerárquica del problema.	Puede volverse complejo cuando hay muchos criterios y alternativas.
Permite incluir juicios subjetivos y convertirlos en valores numéricos.	Requiere que los tomadores de decisiones hagan comparaciones precisas y coherentes.
Facilita la toma de decisiones en grupo, proporcionando una evaluación matemática de consensos.	Sensible a inconsistencias en los juicios.
Aplicable a distintos sectores (empresas, gobierno, salud, educación, etc.).	

5.4.2. Proceso Analítico Jerárquico (AHP): Implementación

Las variables que comparar en esta investigación se pueden ver en la siguiente tabla (Tabla 39), junto a la descripción de a qué se refiere cada una de estas. En esta instancia participaron tres expertos, quienes aportaron las respuestas para construir la jerarquización de criterios.

Tabla 39: Detalle de las variables seleccionadas para la implementación del modelo de jerarquización de variables AHP.

Criterio	Descripción	Peso	+/-
1 Temperatura del aire	Máxima diferencia en la potencial temperatura del aire alcanzada, respecto al caso original.	14,9%	6,0%
2 Rango de efecto	Rango del área afectada en la disminución de la temperatura del aire.	16,5%	1,2%
3 Temperatura superficial	Máxima diferencia en la temperatura superficial alcanzada, respecto al caso original.	4,6%	1,1%
4 PMV	Mejora en el índice PMV respecto al caso original.	28,5%	9,7%
5 Espacio público	Desarrollo y mejoras del espacio público.	26,7%	8,5%
6 Inversión inicial	Valor para la implementación de la propuesta de intervención.	6,0%	2,4%
7 Costos	Valor para el mantenimiento de la propuesta de intervención.	2,7%	0,9%

Como se puede ver en la Figura 91 las variables más importantes según el modelo AHP son el índice PMV, seguido por el desarrollo y mejoras en el espacio público; luego de estas, con pesos por sobre el 10%, siguen el rango de efecto de las estrategias y la máxima diferencia de temperatura alcanzada respecto al caso original. El resto de las variables tuvo un peso menor al 10%, por lo cual no serán consideradas para el

resto del análisis, con el fin de continuar con la simplificación del análisis multivariable.

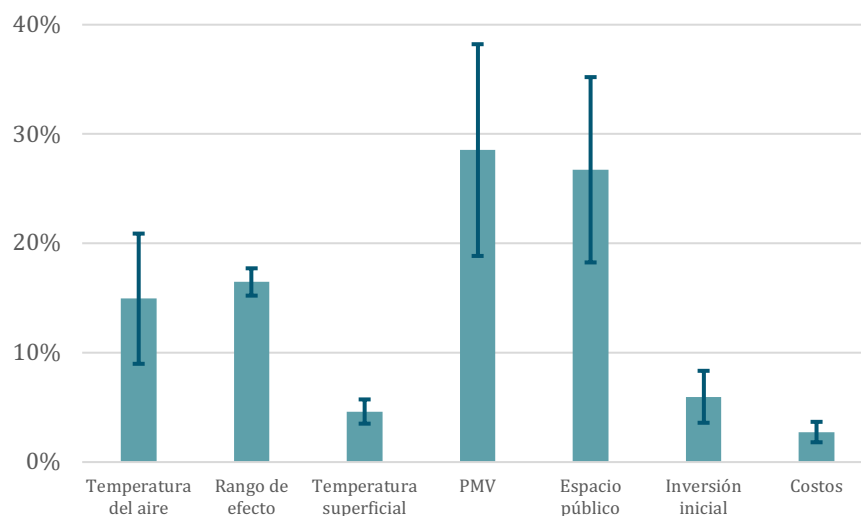


Figura 91: Resultado de la jerarquización de variables utilizando el modelo AHP.

Luego de obtener la jerarquización de cada una de las variables a estudiar, se procede a ordenar y cuantificar las distintas estrategias de intervención para poder determinar de manera conclusiva qué estrategia tuvo el mejor resultado global, como se puede ver en la Figura 16. Para el desarrollo en el espacio público, se ideó la valoración que se muestra en la

Tabla 41 para cuantificar esta variable, mientras que el resto de variables ya cuantificables se normalizan para su correcta comparación.

Tabla 40: Valoración de las intervenciones para la variable PMV.

Mejora en el confort según el índice PMV respecto al caso original	Puntaje
< 0%	0
0 - 2 %	1
2 - 4 %	2
4 - 6 %	3
> 6%	4

Tabla 41: Valoración de las intervenciones para la variable "espacio público".

Efecto en el espacio público	Puntaje
La intervención no se percibe en absoluto desde la vía pública	0
La intervención se percibe desde la vía pública, pero no interviene los espacios públicos	1
Interviene levemente el espacio público	2
La intervención se desarrolla directamente en el espacio público	3

Tabla 42: Valoración de las intervenciones para la variable "rango de efecto".

Rango del area en que la temperatura del aire disminuyo más de 0,3°C	Puntaje
0 - 10 %	0
10 - 20 %	1
20 - 30 %	2
30 - 40 %	3
> 40%	4

Tabla 43: Valoración de las intervenciones para la variable "temperatura del aire"

Máxima diferencia en la potencial temperatura del aire alcanzada	Puntaje
< 0.06	0
0,06 - 0,22	1
0,22 - 0,38	2
0,38 - 0,54	3
> 0.54	4

Tabla 44: Jerarquización de los resultados de las estrategias de intervención estudiadas.

Estrategias	PMV	Espacio Público	Rango de efecto	Temperatura del aire	Puntaje final
	28,5%	26,7%	16,5%	14,9%	
Vegetación	2	3	0	4	2,0
Techo Verde	1	0	1	3	0,9
Fachada Verde	1	1	1	4	1,3
Vegetación mixta	3	4	4	4	3,2
Integración de agua	1	3	0	1	1,2
Reflectividad en pavimento	0	2	4	4	1,8
Reflectividad en techo	1	0	0	2	0,6
Reflectividad en fachada	4	1	0	3	1,9

Finalmente, se obtiene que la estrategia mejor evaluada es la de "vegetación mixta" con un puntaje de 3,2, como se puede ver en la Tabla 44, la siguiente estrategia mejor evaluada quedando considerablemente detrás, con un puntaje de 2,0, fue la de "vegetación". La estrategia con peor resultado fue la "reflectividad en techo", desempeñándose pobremente en casi todas las variables, aportando solo un cambio ligero

en la temperatura del aire y los niveles de confort medidos por el índice PMV, obteniendo un puntaje final de 0,6.

5.5. Futuros estudios

Las distintas limitantes al realizar una investigación, tiempo, cantidad de investigadores, financiamiento, por nombrar algunos, dificultan alcanzar la totalidad de la resolución deseada. Es común que al resolver una interrogante tres más surjan a partir de esta respuesta, es por esto, por lo que limitar la investigación y establecer claras líneas de trabajo para futuros estudios es esencial al conducir cualquier investigación.

Al partir esta investigación uno de los factores determinantes al seleccionar el área de estudio, fue el deseo de analizar el mayor número de variables para poder obtener un entendimiento más completo sobre la posibilidad de intervenir el patrimonio histórico para la mejora del clima urbano, la compatibilidad de rehabilitación y sustentabilidad. Es así como se determina que el área de estudio serán tan solo unas cuadras dentro de un barrio de la ciudad, buscando con esto establecer un caso tipo, estudiando de manera exhaustiva un pequeño sector para que así estos resultados puedan servir de precedente para en el futuro expandir el estudio a todo el barrio, e inclusive a toda la ciudad, además de servir de base para poder ser utilizado en otros contextos considerando la adecuada adaptación.

El primero de los temas que se considera en el que se podría y debería extender el alcance del estudio es en la tridimensionalidad del análisis, dado que se centró principalmente en el plano XY. Si bien se entregaron algunos resultados sobre los efectos en el eje vertical de las estrategias estudiadas, mediante cortes representativos, el análisis en profundidad de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones de los distintos casos se centró a nivel del peatón. Esto es completamente pertinente al momento de trabajar con índices de confort como, por ejemplo, el PMV, el cual se analizó en esta investigación, sin embargo, si se opta por un enfoque más global, los resultados a distintas alturas puedan aportar nueva y relevante información sobre los alcances de las distintas estrategias, esto puede ser especialmente relevante para casos en los cuales no se interviene a nivel de calle, es decir, las intervenciones en los techos y en las fachadas, las cuales se aplican a distintas alturas. La

profundización del análisis de estos resultados puede incluso revalorizar algunas estrategias que no se desempeñaron bien en esta primera investigación como, por ejemplo, la estrategia de “reflectividad en el techo” la cual no solo fue la peor de las estrategias, sino que obtuvo un puntaje final bajo el análisis de jerarquización de variables AHP de 0,0. Es posible que al expandir el análisis en el eje vertical los resultados obtenidos muestren una evaluación más favorable de esta estrategia, después de todo esta estrategia ha sido exitosa en una amplia variedad de casos.

Otra línea de investigación interesante a desarrollar sería simular otros de los posibles casos usando las posibles combinaciones de las estrategias, considerando que en la extensión de investigación tan solo se simularon y analizaron 9 de los 128 posibles casos (Tabla 45 y

Tabla 46), eso es contando el caso original (0000000) en orden de poder utilizarlo como punto de comparación. Esta extensión del estudio podría considerar tomar una muestra de casos a evaluar de manera aleatoria, bajo los parámetros ya establecidos en esta investigación, realizando análisis predictivos para la muestra completa de datos o si los recursos lo permitieran analizar la muestra completa de casos.

Tabla 45: Los 9 casos analizados durante esta investigación de las 128 posibles combinaciones de estrategias.

Código	Integración de Vegetación	Techo Verde	Fachada Verde	Integración de Agua	Reflectividad de Pavimento	Reflectividad de Techos	Reflectividad de Fachadas
0000000	0	0	0	0	0	0	0
0000001	0	0	0	0	0	0	1
0000010	0	0	0	0	0	1	0
0000100	0	0	0	0	1	0	0
0001000	0	0	0	1	0	0	0
0010000	0	0	1	0	0	0	0
0100000	0	1	0	0	0	0	0
1000000	1	0	0	0	0	0	0
1110000	1	1	1	0	0	0	0

Tabla 46: Detalle de los casos simulados con su correspondiente código.

Código	Caso
0000000	Original
0000001	Reflectividad de Fachadas
0000010	Reflectividad de Techos
0000100	Reflectividad de Pavimento
0001000	Integración de Agua
0010000	Fachada Verde
0100000	Techo Verde
1000000	Integración de Vegetación
1110000	Mix de vegetación

Una variable relevante la cual no se abordó en la extensión de esta investigación es el análisis económico de las propuestas, si bien en el análisis AHP se evalúa la importancia que otorgan los encuestados a la “inversión inicial” y a los “costos” de cada estrategia, debido al bajo puntaje que obtuvieron, en orden de limitar dentro de lo posible la investigación no se realizaron estos análisis para las propuestas. El análisis económico de las estrategias de intervención daría otro marco comparativo bajo el que estudiar y jerarquizar cada caso, para esto la recomendación es realizar los cálculos de VAN y TIR para los distintos casos, evidenciando la viabilidad y la rentabilidad de las propuestas. Esto sin duda elevaría el nivel de seriedad y completitud de la investigación, abriendo la posibilidad de poder ser presentada a los actores pertinentes para dar el paso de propuestas a implementaciones.

6. Conclusiones

Si bien las variaciones de la temperatura potencial del aire observadas en cada simulación de las propuestas de intervención fueron relativamente bajas, se observaron diferencias significativas en su distribución espacial, tanto en planta (XY) como en elevación (XZ o YZ). Los resultados obtenidos evidenciaron que la integración de infraestructura verde contribuye de manera efectiva a la mejora del microclima urbano en contextos costeros, como lo es Valparaíso. A pesar de que la variación máxima de temperatura entre las propuestas no fue sustancial, el impacto de la combinación de múltiples intervenciones fue notablemente mayor.

Este estudio muestra que una mayor reducción de la temperatura del aire no se correlaciona necesariamente con una mejora del confort térmico. Si bien la temperatura del aire sigue siendo una variable climática crítica, los resultados basados en el análisis de índice de confort revelan que la experiencia humana con los entornos térmicos puede diferir significativamente de las mediciones físicas.

El análisis multicriterio aportó robustez y claridad a los resultados obtenidos, proporcionando una base valiosa para la formulación de políticas públicas orientadas al control del clima urbano y la adaptación del entorno construido frente al cambio climático. Permitiendo identificar con mayor precisión la pertinencia y relevancia de los escenarios evaluados, posibilitando optimizar las combinaciones de las estrategias de intervención estudiadas.

Aumentar la reflectividad del pavimento probó no ser una solución integral. Si bien es cierto que puede reducir la temperatura no solo del propio material, sino también de su entorno más cercano, no logra gestionar adecuadamente la radiación solar para mitigar los efectos de la ICU. No obstante, el hormigón en la calle, dada su masa térmica e impermeabilidad, entre otros factores, sigue siendo un problema que debe resolverse, y es urgente explorar nuevas y mejores estrategias para ello.

Referencias

- ABCB. (n.d.). *Adaptive thermal comfort and Predicted Mean Vote*.
www.abcb.gov.au.
- Akande, O. K., Odeleye, D., & Coday, A. (2014). Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(2), 237–250. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250>
- Arnfield, A. J. (2023, May 16). *Köppen climate classification*. <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>.
- Asamblea General de ICOMOS. (1964). Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (carta de Venecia 1964). *2nd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964*.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Balany, F., Mutil, N., Muthukumaran, S., Wong, M. S., & Ng, A. W. M. (2022). Studying the Effect of Blue-Green Infrastructure on Microclimate and Human Thermal Comfort in Melbourne's Central Business District. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159057>
- Bell, S., Fleming, L. E., Grellier, J., Kuhlmann, F., Nieuwenhuijsen, M. J., & White, M. P. (Eds.). (2022). *Urban Blue Spaces; Planning and Design for Water, Health and Well-Being* (1st Edition). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.4324/9780429056161>
- Cappello, C., Giuffrida, S., Trovato, M. R., & Ventura, V. (2022). Environmental Identities and the Sustainable City. The Green Roof Prospect for the Ecological Transition. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912005>
- Carrasco, X. U. (2016). La colonización vertical en Valparaíso. Etapa inicial. *HYBRIS. Revista de Filosofía*, 7, 97–127. <https://doi.org/10.5281/zenodo.58621>

- Cascone, S. (2019). Green roof design: State of the art on technology and materials. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11113020>
- Coombes, M. A., & Viles, H. A. (2021). Integrating nature-based solutions and the conservation of urban built heritage: Challenges, opportunities, and prospects. In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 63). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127192>
- De Fino, M., Scioti, A., Cantatore, E., & Fatiguso, F. (2017). Methodological framework for assessment of energy behavior of historic towns in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 144, 87–103. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.029>
- Fischereit, J., & Schlünzen, K. H. (2018). Evaluation of thermal indices for their applicability in obstacle-resolving meteorology models. *International Journal of Biometeorology*, 62(10), 1887–1900. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1591-6>
- Fusha, A. (2022). *Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de descarbonización*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2022/11/1516722>
- García-Fuentes, M. A., Hernández, J. L., Meiss, A., & Colla, C. (2016). Comprehensive energy diagnosis methodology integrating non destructive testing. *Emerging Technologies in Non-Destructive Testing VI - Proceedings of the 6th International Conference on Emerging Technologies in Nondestructive Testing, ETNDT 2016*, 397–403. <https://doi.org/10.1201/b19381-68>
- Goepel, K. D. (2013). Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs. *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kuala Lumpur*. <https://doi.org/https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>
- Gómez Rodríguez, D. T. (2021). Sostenibilidad. Apuntes sobre sostenibilidad fuerte y débil, capital manufacturado y natural. *Inclusión & Desarrollo*, 8(1), 131–143.
- ICOMOS. (1967). *The Norms of Quito-1967 Final Report of the Meeting on the Preservation and Utilization of Monuments and Sites of Artistic*

- and historical Value held in Quito, Ecuador, from November 29 to. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/168-the-norms-of-quito>
- ICOMOS Brazilian Committee. (1987). *First Brazilian Seminar about the Preservation and Revitalization of Historic Centers; Itaipava - 1987*. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/194-first-brazilian-seminar-about-the-preservation-and-revitalization-of-historic-centers-itaipava>
- Knifka, W., Karutz, R., & Zozmann, H. (2023). Barriers and Solutions to Green Facade Implementation—A Review of Literature and a Case Study of Leipzig, Germany. *Buildings*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/buildings13071621>
- Majidi, A. N., Vojinovic, Z., Alves, A., Weesakul, S., Sanchez, A., Boogaard, F., & Kluck, J. (2019). Planning nature-based solutions for urban flood reduction and thermal comfort enhancement. *Sustainability (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226361>
- Mendez B., L. M. (1987). Plazas y parques de Valparaíso: transformaciones en el micro paisaje urbano. In *Valparaíso (1820-1920)* (pp. 21–44). Instituto de Historia Universidad Católica de Valparaíso.
- Michalik-Śnieżek, M., Adamczyk-Mucha, K., Sowisz, R., & Bieske-Matejak, A. (2024). Green Roofs: Nature-Based Solution or Forced Substitute for Biologically Active Areas? A Case Study of Lublin City, Poland. *Sustainability (Switzerland)*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/su16083131>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2005, July). *Inmuebles y Zonas de Conservación Histórica de la Región de Valparaíso*. <https://www.patrimoniourbano.cl/inmuebles-y-zonas-patrimoniales/region-de-valparaiso/>.
- Mohammed, A., Khan, A., & Santamouris, M. (2021). On the mitigation potential and climatic impact of modified urban albedo on a subtropical desert city. *Building and Environment*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108276>
- Ordenanza Local Plan Regulador Valparaíso Refundida (2005).

- Palme, M., Carrasco, C., Privitera, R., & La Rosa, D. (2022). Building Performance Simulation to support tree planting for cooling need reduction: a machine learning approach. *Proceedings of Building Simulation 2021: 17th Conference of IBPSA*, 17. <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30196>
- Pinheiro, A. P. (2020). Architectural Rehabilitation and Sustainability of Green Buildings in Historic Preservation. *HighTech and Innovation Journal*, 1(4), 172–178. <https://doi.org/10.28991/HIJ-2020-01-04-04>
- Sánchez, M. A., Bosque, M. J., & Jiménez, V. C. (2009). Valparaíso: Su geografía, su historia y su identidad como Patrimonio de la Humanidad. *Estudios Geográficos*, 70(266), 269–293. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0445>
- Santi, G., & Battini, S. (2019). Green roofs to improve the energy renovation resilience of historic buildings. *Interdependence between Structural Engineering and Construction Management*.
- Sarricolea P, Herrera, M., & Meseguer-Ruiz, O. (2017). Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66–73.
- Schlaerth, H. L., Silva, S. J., Li, Y., & Li, D. (2023). Albedo as a Competing Warming Effect of Urban Greening. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(24). <https://doi.org/10.1029/2023JD038764>
- Shabahang, S., Vale, B., & Gjerde, M. (2021). A Simulation Method for Studying Urban Heat Islands at the Urban Scale. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 203, 115–126. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8783-2_9
- Shehata, A. O., Hassan, A. M., Shahda, M. M., & Megahed, N. A. (2024). Green retrofitting of heritage buildings based on (3Ts) framework: An applied case study. *Frontiers of Architectural Research*, 13(4), 776–798. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.02.015>
- Tseliou, A., Koletsis, I., Pantavou, K., Thoma, E., Lykoudis, S., & Tsiros, I. X. (2022). Evaluating the effects of different mitigation strategies on the warm thermal environment of an urban square in Athens, Greece. *Urban Climate*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101217>
- Ugarte Yávar, J. de D. (1910). *Valparaíso: 1536-1910: recopilación histórica, comercial y social*. Imprenta Minerva.

- USGS (U.S. Geological Survey). (2022). *EarthExplorer*.
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vicuña Mackenna, B. (1936). *Historia de Valparaíso - Tomo I*. Universidad de Chile.
- Yüceer, H., & Ipekoğlu, B. (2012). An architectural assessment method for new exterior additions to historic buildings. *Journal of Cultural Heritage, Volumen 13*(Número 4), 419–425.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.12.002>

Anexos

Evaluating Overheating in the Urban Microclimate: A Comparative Study of Air Temperature and Thermal Comfort Indexes for the Coastal City of Valparaíso

Pamela Muñoz Ossandón¹[0009-0000-3393-270X] and Massimo Palme²[0000-0003-1166-2926]

¹ Architecture Department, Universidad Técnica Federico Santa María

² Doctorate in Sustainable Engineering, Universidad Católica del Norte

pamela.munoz@usm.cl

Abstract. Urban overheating has become an increasingly pressing issue in cities all over the world. This study explores the outdoor microclimate and thermal comfort conditions in a representative area of “El Almendral”, a historic neighborhood in Valparaíso, Chile. The research combines on-site measurements with climate simulations using ENVI-met to evaluate the impact of several intervention strategies on both climatic variables and human thermal perception. A set of nine scenarios was developed, including green and blue infrastructure strategies, as well as surface reflectivity enhancements. Simulations were configured for a 24-hour period around the summer solstice using local climate data, while thermal comfort was assessed through the Universal Thermal Climate Index (UTCI). The findings highlight important divergences between air temperature reduction and thermal comfort outcomes, emphasizing the value of integrating human-centered metrics into microclimate analysis. The study reveals that strategies traditionally seen as effective from a climatic perspective may not necessarily align with improved thermal perception.

Keywords: Thermal Comfort Index, Nature-based solutions, Urban Climate Control, Overheating, ENVI-met.

1 Introduction

It has been well established the ill effects of the Urban Heat Island (UHI) on the cities landscape and its inhabitants, the increase in temperature not only rise the requirement for air conditioning and there for energy consumption, but it also is the cause of severe health problems, even mortality [1]. Furthermore, although this phenomenon has been extensively studied, the reality is that the complexity of the diversity of climates, socio-politics and economic realities, creates highly specific context to each situation, as a result, there is not a unique solution that can be universally applied. Thus, the importance to realize this studies in context such as Latinamerica, where the development in this matters has not reached the level of some European countries, and the studied strategies must be proven and adapted for its realities.

Over the past decades, given the fast and continuous development of technology, there has been introduced several new options to study of the urban climate. These methods fall mainly in two categories, empirical measurements and numerical simulations. While each approach presents distinct advantages and limitations [2], it is advisable to combine both, depending on the specific goals and scope of a given research

1.1 Study case: definition, context and relevance



Fig. 1. Location of the study area in the "Almendra" neighborhood of Valparaíso

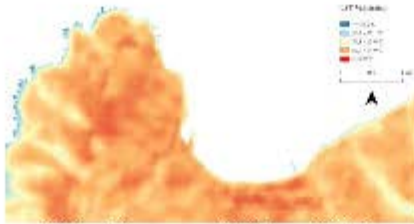


Fig. 2. Land surface temperature (LST) in the city of Valparaíso

This study adds to the global efforts in urban climate mapping by studying the city of Valparaíso, in the coast of Chile. A representative urban area was selected to investigate the impact of Nature-Based Solutions (NBS) [3] on the Urban Heat Island (UHI) effects within the local microclimate, using a combination of on-site measurements and climate simulations conducted with ENVI-met.

The city of Valparaíso in the central zone of Chile, corresponds to a "Mediterranean oceanic" climate (Csb), according to the Köppen-Geiger classification [4], it is characterized by temperate temperatures and low precipitation [5]. The city has two distinct

historical neighborhoods, one of those being the port area and the other being the "Almendra" at the east side of the urban area [6], where the study was conducted. Within this, site nine blocks were selected (see Fig. 1) for the evaluation of mitigation strategies, studying the air temperature and the UTCI for each of these scenarios.

This area was chosen for its representativeness and strategic urban position. It is in a UHI (see Fig. 2), it lies at the transition between the hills and the plan of the city, near the coastline and the effects of the ocean [7], and serves as a key connectivity hub, linking Valparaíso to surrounding cities. Situated along the axis of Argentina Avenue, one of the city's principal transit corridors, its proximity to major transport infrastructure, such as the metro and the maritime passenger terminal, along with its coastal conditions, makes it a critical site for examining microclimatic dynamics and evaluating the potential of nature-based solutions in a coastal urban context. It is important to remark that the select area is certainly quite small, and it was selected as such by design, given the wide amount of variables that were involved in the main research, this being merely a section of it, and the limited resources available for the study, finally being the purpose of this selection to be a "type" case study, so in the future could either expand the selected area or use the findings to adapt to a new study in another context.

2 Methods

As previously mentioned, this research combines on-site measurements and climate simulation software to study the urban microclimate of the selected area. The measurement campaign was conducted using a HOBO Data Logger over a three-week period near the summer solstice, recording air temperature and relative humidity at 15-minute intervals. The climate simulation software, ENVI-met (version 5.6.1 Winter23), was selected for the simulation component of this study due to its suitability for urban microclimate analysis. The software integrates fluid dynamics and thermodynamic calculations [8], allowing for detailed and comprehensive modelling of environmental conditions. However, its complex computational structure imposes certain limitations. As a result, simulations are recommended to be limited to neighborhood-scale areas or small urban sections, with a maximum simulation period of approximately 24 to 48 hours [2]. The great advantage of this software relies on the capability to analyze several climate variables at once, using the climate data collected (on a “epw” file) by a nearby climate station. The simulation delivers a wide range of climate variables, group in several categories: Atmospheric data, Surface data and surface fluxes, Soil data, Vegetation data, Building data static, Building data dynamic, Pollutants, Radiation Data, BIO-met Data, Solar Access, Solar Access on Facades and Roofs. From the vast array of results given by the Atmospheric data, as seen in the Table 1, this study work with the Potential air temperature values, along side with the comfort index provided by the BIO-met Data (PMV, PET, dPET, UTCI and SET), from these the UTCI was selected for its suitability for this research [9].

Table 1: List of variables delivered by the Atmospheric data files.

Variable	Unit	Variable	Unit	Variable	Unit
Objects	-	Potential air temperature	°C	Vertical exchange coefficient Impulse	m ² /s
Flow u	m/s	Air Temperature Delta	K	Horizontal exchange coefficient Impulse	m ² /s
Flow v	m/s	Air temperature change	K/h	Direct shortwave radiation	W/m ²
Flow w	m/s	Specific humidity	g/kg	Diffuse shortwave radiation	W/m ²
Wind Speed	m/s	Relative humidity	%	Reflected shortwave radiation	W/m ²
Wind speed change	%	TKE	m ² /m ²	Air temperature change through low-pressure water cooling	K/h
Wind direction	degrees	Dissipation	m ² /m ²		
Pressure disturbance	Pa	Medium radiant temperature	°C		

2.1 Onsite measurements

The data collected by the measurement campaign aligned with the expected characteristics of a Csb climate zone, showing high relative humidity and moderate temperatures typical of a temperate coastal environment. This information was used to calibrate and validate the values given by the simulation performed by ENVI-met, achieving a 4% of discrepancy between the real and simulated data, hence being a close model of what this strategies may cause if applied in reality.

2.2 Simulation process

A total of nine scenarios were modelled: the original case, three models integrating green infrastructure strategies (vegetation on the public space, green roofs, and green façades), and a fourth combining all green strategies, one scenario incorporating blue infrastructure, introducing water sources into the public space, while the last three applied high-albedo materials to increase surface reflectivity, targeting pavements,

roofs, and façades, respectively. All scenarios were simulated for the summer solstice, starting at 7:00 AM and running for a 24-hour period, to represent peak seasonal thermal conditions, each model taking about 12 hours to complete.

3 Results

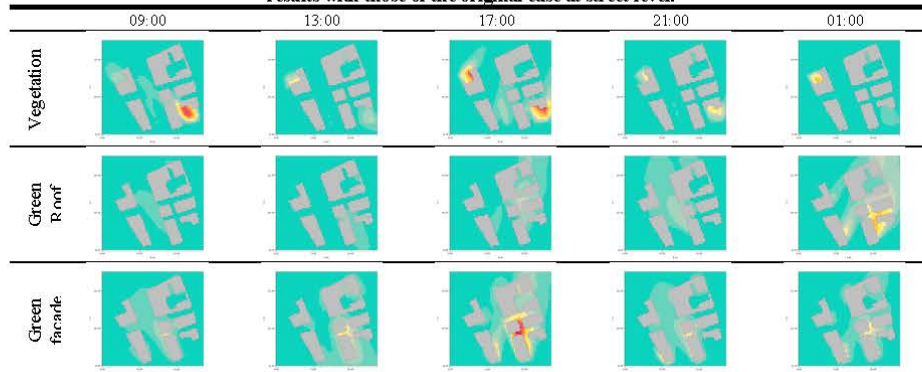
As established early the climate variable mainly studied from the simulation was the potential of the air temperature, this is to say, the probable air temperature that would be in the environment if it were applied the given intervention strategy. The initial analysis of this results shown a low variation between the original case and each of the interventions, which was expected given the small study area, nevertheless these results provide a valuable insight to how each intervention strategies behave in this particular context. Given the small difference, a comparative approach was used for a clearer and detailed study of these results, there for each value and graphic mentioned next considers the difference between the potential air temperature of the original case versus the intervention strategies.

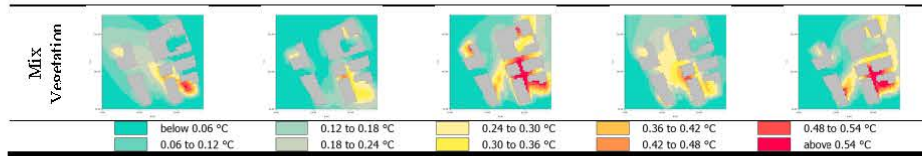
3.1 Potential Air Temperature

Green infrastructure

The effects of each intervention strategy present similar results in terms of the maximum values reached, however, the range of the area of influence of each intervention varies significantly, as can be seen in Table 2. As for the maximum values, the vegetation integration strategy had the greatest decrease in temperature, with 0.55°C difference at 5:00 PM. However, the most significant results were obtained by combining all the previously analyzed strategies, as expected. This integration achieves the largest area of influence and the greatest increase in the potential air temperature difference, reaching 0.76°C difference at 5:00 PM.

Table 2: Results of the integration of green infrastructure strategies, comparing the potential air temperature results with those of the original case at street level.

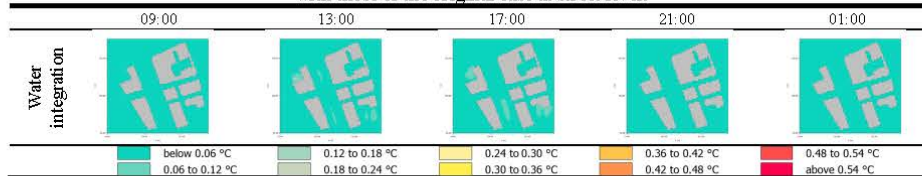




Blue infrastructure

The impact of the blue infrastructure integration is not quite significant, either in terms of the range of the area of influence or the maximum potential air temperature difference reached, with a maximum difference of only 0.13°C at 5:00 p.m., as can be seen in Table 3. These results can be explained by the high humidity already present in the environment, given the proximity of the study area to the ocean.

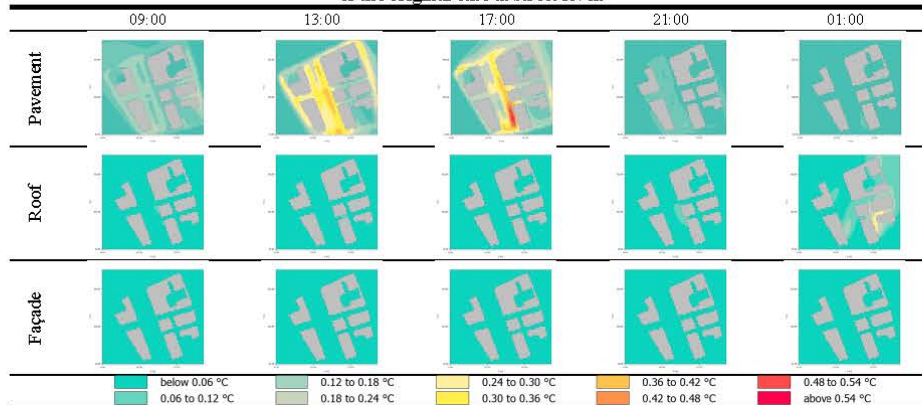
Table 3: Results of the integration of blue infrastructure strategies, comparing the potential air temperature results with those of the original case at street level.



Increased reflectivity strategies

There were three strategies regarding the increase in reflectivity the first one was focused on the pavement, the second in the roofs and the final in the façade of the buildings. The effects of the intervention strategy on the roofs and facades yielded similar results in terms of the range of effect and the maximum potential air temperature difference achieved, as shown in Table 4. On the other hand, the increase in the pavement reflectivity had a greater impact in terms of the area of effect and the maximum potential air temperature difference, this being 0.54°C at 17:00.

Table 4: Results of the increased reflectivity strategies, comparing the potential air temperature results with those of the original case at street level.



Results Summary

All strategies were at least somewhat effective in achieving the goal of lowering the temperature in this UHI area, however, one type of strategy clearly had a greater and more widespread effect on the urban fabric, the green infrastructure integration. Although it is important to understand which strategy was more effective, there is a greater need to comprehend how these strategies complement each other. For example, the vegetation integration and green facade integration behaved similarly between 1:00 PM and 1:00 AM, as can be seen in Fig. 3, but after that point, the vegetation effect began to increase again, while the green facade effect began to decline. This clearly demonstrates a complementary behavior that should be leveraged to achieve the best possible outcome for urban climate control when planning interventions on the urban fabric [10]. Furthermore, the most effective strategy by far was the mixed green infrastructure with a potential air temperature difference of 0.76°C at 17:00, the second best, far behind, was the green facade strategy with a difference of 0.57°C which was also reached at 17:00, and at the bottom of the list, the least effective strategy was the integration of blue infrastructure with only a difference of 0.13°C at 13:00.

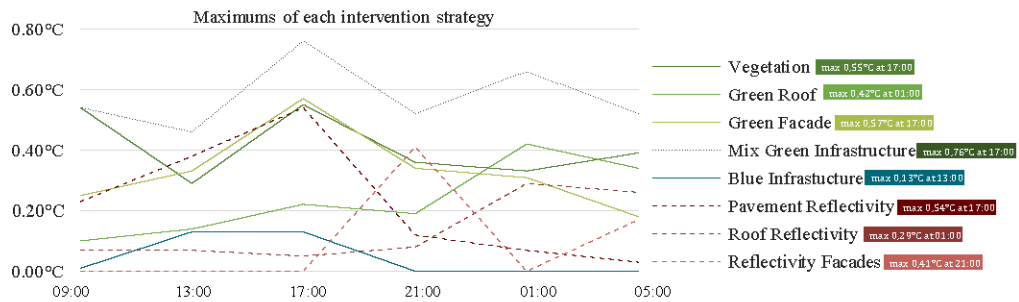


Fig. 3. Maximums achieved for each intervention throughout the 24 hour window.

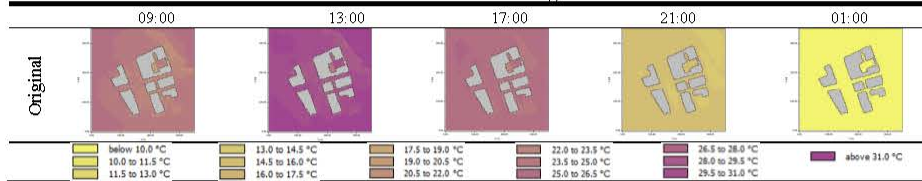
3.2 Thermal Comfort Index

Although empiric data is undeniable valuable, these do not always are a faithful representation of the human perception, there for the need of thermal comfort indexes that provide a more robust and comprehensive understanding of how environmental conditions are perceived by individuals [11]. Thermal comfort indexes assess how environmental factors impact human perception, air temperature (T), humidity (H), wind speed (v), and mean radiant temperature (T_{mr}). In addition to these environmental variables, individual factors also influence thermal perception, namely, the level of physical activity (met) and clothing insulation (clo). These six variables, are collectively referred to as the “six basic parameters,” that define the “human thermal environment.” The interaction of these parameters determines the individual’s “thermal sensation,” or how a person subjectively experiences their thermal environment [12]. This study used the UTCI to evaluate this subject, considering a person according as how the software describes it, “Default male, summer clothing”, this means a 35 year old male, weighting 75 (kg), with a height of 1.75 (m), being his body position “standing”, and static insulation outdoor of 0.50 (clo), and indoor of 0.90 (clo), a total metabolic rate of 164.49 (W), 1.48 (met) and a walking speed of 1.21 (m/s).

Original scenario

The results of the UTCI for the original case shown that the perceived air temperature was on average 6.1°C different than the values given by the potential air temperature, being higher during the day and lower during the night.

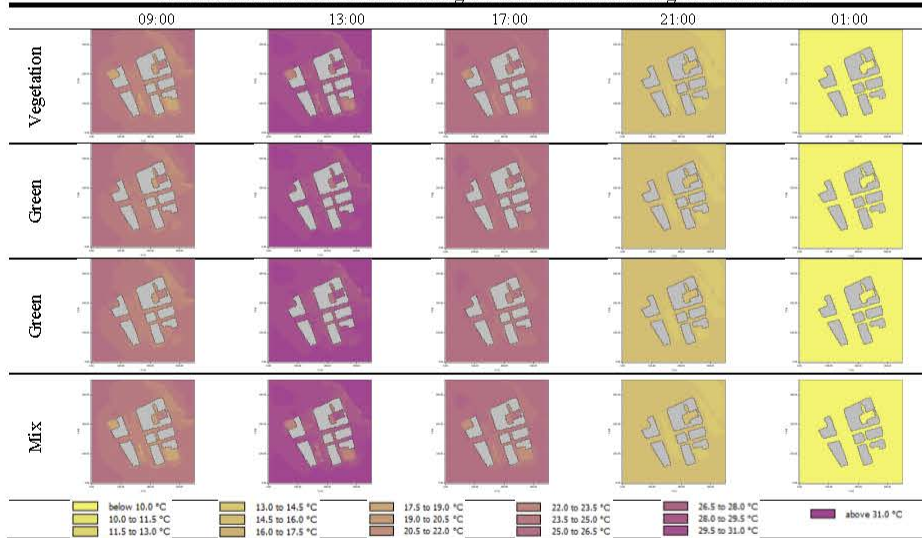
Table 5: Results of the UTCI for the original case at street level.



Green infrastructure

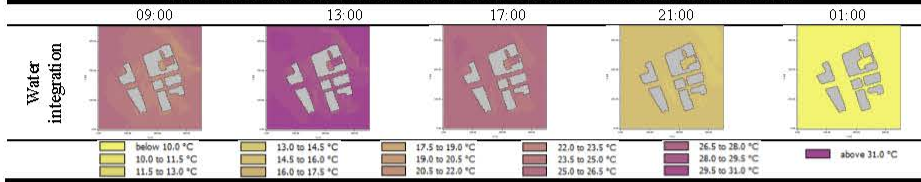
In the case of the green infrastructure integration strategies, the results, as can be seen in Table 6, indicated that as was the case for the previous analysis the best results were obtained by the integration the vegetation managing to lower the temperature up to 7.6°C, value achieved at 13:00 hours, the maximum decrease in temperature comparing it to the original scenario for the green façade strategy was the 3.1°C, achieved at 13:00, and for the green roof strategy was the only 0.4°C, achieved at 01:00, finally the combination of the strategies, did not shown an improvement like in the previous analysis, lowering the temperature up to 7.6°C just like the vegetation integration.

Table 6: Results of the UTCI for the green infrastructure strategies at street level.



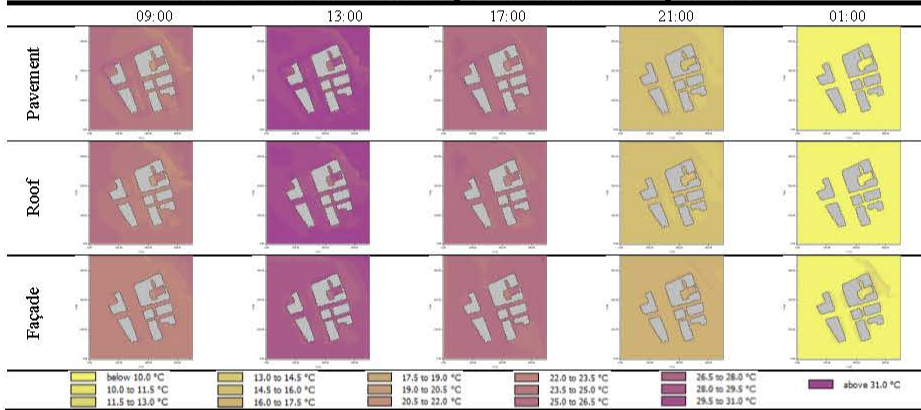
Blue infrastructure

The blue infrastructure strategy, as shown in Table 7, managed to lower the temperature up to 2.0°C at 13:00 hours, the same time as the previous analysis, but with a considerably more significant impact.

Table 7: Results of the UTCI for the blue infrastructure strategies at street level.

Increased reflectivity strategies

The UTCI for the increase reflectivity strategies result in some significant difference amongst these set, as can be seen in Table 8. The increase in reflectivity of the pavement and of the roofs got a decrease of temperature up to 0.2°C and 0.3°C accordingly, while the increase in the reflectivity of the façade managed to lower the temperature up to 3.9°C compared to the original case.

Table 8: Results of the UTCI for the green infrastructure strategies at street level.

Results Summary

The results obtained from the UTCI analysis shown some discrepancies regarding the more effective strategies, but more importantly made the gap between the achieved by each strategy clearer, at least by its own criteria. Even though the green infrastructure remained as the set of strategies with better results, it shown a clearly more favorable outcome regarding the integration of vegetation on the public space. The blue infrastructure, on the other hand, had a more considerable improvement in lowering the air temperature, forcing to reevaluate the initial disregard for this strategy. The increase in reflectivity strategies had remarkably less significant results. Overall, the strategies that were nearer the street level got considerably better results, as these affect the people in a more direct way, with the exception of the increase in the reflectivity of the pavement strategy that did not abide by this.

4 Discussion

While the value of empirical variables such as air temperature is undeniable, there is also significant insight to be gained from examining indicators that are more closely related to the human experience, such as thermal comfort indexes. The results of this study highlight the importance of considering both perspectives in parallel. For example, the air temperature analysis identified the mixed vegetation integration as the most effective strategy, achieving a temperature reduction up to 0.76°C compared to the original case. However, the impact of the same strategy analyzed according the UTCI show an improvement of 7.6°C . A more interesting insight of this parallel study was the fact that even though a strategy such as the increase in pavement reflectivity that manage to reduce in good measure the air temperature, had a quite different result when study with the UTCI, been significantly less effective in this regard, this highly the complexity of the study of the urban microclimate, it is true that given a higher albedo the pavement will absorbed less solar radiation, therefor making it cooler, but the radiation does not disappear, it is reflected to the environment, thus making it hotter. The truth is that there is not one perfect answer to the climate challenges that we face today, some ideas may work, some not, and even those that work in some context may not work in another, this is why is so important, so urgent to continue studying, inventing and develop ideas to ultimately not *control*, but to be capable to respond and to adapt to an ever changing urban climate.

5 Conclusions

The complexity in the number of variables involved in the understanding of the urban climate cannot be overlooked, and the capacity of ENVI-met to be able to process these values simultaneously is a remarkable advance. However, the complexity in the calculation required to obtain this means some limitations as well, for instance the small zone that is possible to model using the software and the small window of time that can be possible to study in one simulation, even with the most advanced equipment going further than a neighborhood or a couple of days, could take from several days to over a week for the simulation to run, depending on the level of detail use. Therefore, the selection of the location and the geographical limits of the study area are essential.

The value of a multicriteria study was presented taking into consideration merely two variables, the potential air temperature and UTCI, and as future studies add more variables to deepen the understanding of the case, it becomes essential the development of methods for prioritizing the results. Establishing a clear hierarchy of variables will enhance the decision-making process by identifying the most favorable scenarios not just climatically, but holistically.

This study shows that a greater reduction in air temperature does not necessarily correlate with an improvement in the thermal comfort. While air temperature remains a critical climatic variable to evaluate, the results based on the UTCI analyze, reveal that the human experience of thermal environments can diverge significantly from purely physical measurements.

The results of this study point that increasing the reflectivity in the pavement is not a well-rounded solution, even though it is certain that it can actually lower the temperature not only of the material itself, but also of its more nearby surroundings, in the larger scale does not manage the solar radiation properly to lower the effects of UHI. Nevertheless, the concrete in the street, given its thermic mass, impermeability amongst other factors, remains an issue that must be solved, the exploration of new and improved strategies for this is urgent.

References

1. Brotas L, Lafuente JJ (2014) The impact of the Urban Heat Island in the energy consumption and overheating of domestic buildings in London
2. Shabahang S, Vale B, Gjerde M (2021) A Simulation Method for Studying Urban Heat Islands at the Urban Scale. In: *Smart Innovation, Systems and Technologies*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp 115–126
3. Majidi AN, Vojinovic Z, Alves A, et al (2019) Planning nature-based solutions for urban flood reduction and thermal comfort enhancement. *Sustainability (Switzerland)* 11: <https://doi.org/10.3390/su11226361>
4. Arnfield AJ (2023) Köppen climate classification. In: <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
5. Sarricolea P, Herrera M, Meseguer-Ruiz O (2017) Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps* 13:66–73
6. Sánchez MA, Bosque MJ, Jiménez VC (2009) Valparaíso: Su geografía, su historia y su identidad como Patrimonio de la Humanidad. *Estud Geogr* 70:269–293. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0445>
7. Espinoza PS, Romero H (2009) Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso (AMV). In: *5th International Conference Virtual City and Territory*. Barcelona, pp 345–356
8. Balany F, Muttill N, Muthukumaran S, et al (2022) Studying the Effect of Blue-Green Infrastructure on Microclimate and Human Thermal Comfort in Melbourne's Central Business District. *Sustainability (Switzerland)* 14: <https://doi.org/10.3390/su14159057>
9. Zare S, Hasheminejad N, Shirvan HE, et al (2018) Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather Clim Extrem* 19:49–57. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.01.004>
10. Tseliou A, Koletsis I, Pantavou K, et al (2022) Evaluating the effects of different mitigation strategies on the warm thermal environment of an urban square in Athens, Greece. *Urban Clim* 44: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101217>
11. Vessies F (2020) Green facades for cooling urban hot spots the cooling effectivity of green facades on spaces adjacent to and inside dwellings in Amsterdam
12. Fischereit J, Schlünzen KH (2018) Evaluation of thermal indices for their applicability in obstacle-resolving meteorology models. *Int J Biometeorol* 62:1887–1900. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1591-6>

Urban climate control strategies and buildings' retrofitting: a simulation study in the UNESCO heritage site of Valparaiso, Chile

Pamela Muñoz Ossandón¹, Massimo Palme²

¹Architecture Department, Universidad Técnica Federico Santa María

²Doctorate in Sustainable Engineering, Universidad Católica del Norte

pamela.munozo@usm.cl

Abstract

This work proposes the search for a fair compromise between the valorization of the built heritage and climate neutrality, understood here as the restoration of conditions of habitability and comfort of open spaces, or at least, the reduction of harmful urban microclimatic phenomena. The research uses the ENVI-met software to simulate the microclimate and estimate the potential for reducing the intensity of the urban heat island phenomenon in a sector of "El Almendral" neighbourhood, located in the urban heritage context of Valparaiso, Chile. Different intervention proposals are compared, considering urban greenery, evaporative cooling solutions and changes in the materials of pavements, facades and roofs of the buildings in the sector under analysis. The results show that the reduction in urban heat island intensity is greater in the case of green interventions, compared to blue and gray ones.

Introduction

Climate neutrality is a concept that envisages, in addition to the drastic reduction of greenhouse gas emissions, also the generation of climatically acceptable urban conditions. In this sense, any intervention in the building sector must consider not only the mitigation of global warming, but also the adaptation to ongoing climate change. The urgency is to carefully evaluate the consequences of each construction process, as well as the retrofit of existing buildings (Akande et al. 2014), in particular, the redevelopment interventions of the building stock must no longer only consider energy efficiency and the transition towards renewable energy, but also adequate strategies for improving the climatic conditions outside the buildings.

The use of climate simulations as a tool for choosing design strategies has become widespread in recent years as a working methodology. Yet, in heritage contexts, there is still a certain reticence to consider scientific data as a valid resource for determining design criteria, favoring rather historical readings and formal analyzes of buildings as constraints to be respected even at the expense of energy and environmental improvements. Carrying out interventions in historic buildings or even more so in heritage buildings is accompanied by various restrictions and special requirements, however, this should not discourage the mission of increasing the energy efficiency of these buildings. The benefits of integrating new technology or materials are not necessarily limited to

improvements in the energy performance of the building; these changes will undoubtedly have a positive effect on hygrothermal comfort around them. This research will propose intervention strategies for urban climate control, through the integration of nature-based solutions (NBS) in historic buildings and public spaces in the selected study area, collecting information on the ground for the analysis of the results of these proposals and their technical feasibility considering current regulations and national and international recommendations for the conservation of historic buildings.

Case of study

The history of the city of Valparaiso is unique from its conception, starting with the widely established fact that it was never founded, but rather its role arose merely as a port of the kingdom of Chile, thus beginning to form its identity as a port city (Sánchez et al., 2009). It is in the port area where the first settlements of what would become the city of Valparaiso were established. It is important to remember that a large part of what is now known as the "plan" of the city was originally part of the bay, so that transit between the "Puerto" neighborhood and the "el Almendral" neighborhood was initially carried out by walking through the hills (Carrasco, 2016). In the IXX Century, the "el Almendral" neighborhood was characterized by the estuary known as "Las Delicias" that ran through it in its center, dividing the avenue, of the same name in two, surrounded by trees planted in 1834



Figure 1: The estuary Las Delicias (1905).

(see Figure 1). To this day, this has been one of the most important sectors of the neighborhood, and of the city, now known as Avenida Argentina.

The 1906 earthquake caused severe destruction across the city, reducing much of the El Almendral neighborhood to rubble. In response, the government passed a law, mandating the neighborhood's reconstruction through total expropriation to create "a comfortable, hygienic, and well-delineated population" (Ugarte Yávar, 1910). One significant transformation during this period was the conversion of the Las Delicias estuary into a vaulted riverbed, turning the Alameda into a grand promenade.



Figure 2: Vegetation present in the eastern sector of the "El Almendral" neighbourhood.

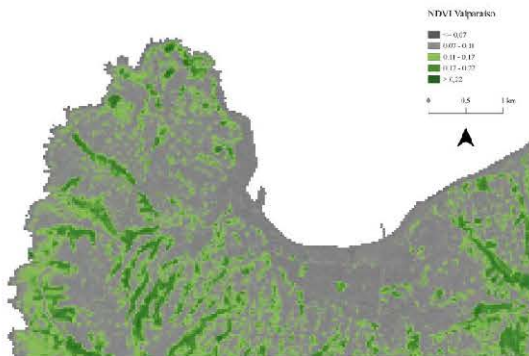


Figure 3: Normalized difference vegetation index (NDVI) for the city of Valparaíso.

During the XIX century, and continuing until the XX century, the maintenance, improvements, and expansion of public space were protagonist themes in the development of the city. In a city with a topography as complex as Valparaíso, courtyards, gardens and green spaces in general have been consistently scarce, which is why they are of great importance. In the historical monograph "Valparaíso 1536-1986" in its chapter "Plazas and parks of Valparaíso: transformations in the micro urban landscape" a journalist of the time is quoted who points out: "A rod of land is for Valparaíso a find, a street that opens up is a richness, a square means ten times a street, it is an uncovered territory, a continent found in the middle of a city" (Mendez B., 1987). This remains a deeply concerning issue within the urban landscape. Figure 2 illustrates the current lack of vegetation in the eastern area of the El Almendral neighborhood, a condition that extends throughout the city, as shown in Figure 3, the primary concentration of vegetation is found in the ravines, indicating that it has developed spontaneously rather than as part of a planned public

space. Consequently, in its current state, this vegetation is largely inaccessible and unusable for public purposes.

Interventions in the built heritage

Any intervention on the built heritage should contemplate a thorough analysis and evaluation of its current state to identify its attributes and the feasibility of what can it sustain (Santi et al. 2019). Moreover, local normative and guidelines must be studied and followed properly, along with the ones dictated by international organizations such as ICOMOS and UNESCO, the most important of these documents being the Venice Charter, that amongst its many principles states that: "replacements of missing parts must integrate harmoniously with the whole, but at the same time must be distinguishable from the original so that restoration does not falsify the artistic or historic evidence" (ICOMOS 1964), thus establishing the possibility of intervention as long as it is clearly noticeable and reversible. In addition to this, such as "The Norms of Quito" (ICOMOS 1967) and "First Brazilian Seminar about Preservation and Revitalization of Historic Centres" (ICOMOS 1987) also reinforce the idea of positive interventions on historic or heritage buildings and sites.

Over the last years this subject has been studied with a revitalized interest due to the advanced technology, in particular new measurement equipment and analysis software, Yüceer et al. propose a method for evaluating the compatibility of addition to the built heritage through an approach based on architectural analysis, which is broken down into site analysis, mass analysis (location, configuration, orientation, dimensions) and a façade analysis, emphasizing once more the importance of a deep analysis of the intervention subject.

Interventions on the built heritage, certainly, must uphold several guidelines and safeguards, for the preservation of the values, authenticity and integrity of it, but are far from incompatible with mindful design intervention strategies that can not only recognize and respect these attributes but rehabilitate them, along with the improvements on the urban microclimate.

Methodology

This research had five stages of development, these have been: information gathering, data analysis, design of intervention proposal, intervention evaluation and analysis of results.

Information Gathering

The research begins by defining key parameters and reviewing relevant materials, including bibliographic sources, planimetry, and photographs. Non-invasive measurements are conducted to assess environmental conditions, structural integrity, and energy characteristics.

Data Analysis

Collected data undergoes analysis based on its nature, following three main approaches: statistical analysis, modeling and evaluation software, and other relevant criteria.

Design of Intervention Proposals

Intervention proposals are developed considering identified needs and constraints, including regulatory requirements and structural limitations, ensuring technical feasibility.

Evaluation of Interventions

Proposed interventions are assessed using ENVI-met climate simulation software, and their feasibility and benefits are compared.

Analysis of Results

The results are analysed and rank according to the maximum effect achieved in the difference in the potential air temperature between the original case and each intervention, and the range of effect of each of them.

Onsite measurements

Amongst the information obtained for this study, there were a recollection of climate data utilizing a HOBO data logger device. The recorded data of the measurement campaign is presented in Figure 4. The results align with the expected characteristics of a Csb climate zone, showing high relative humidity and moderate temperatures typical of a temperate coastal environment. These results also helped validate the data obtained through the simulation in ENVI-met.

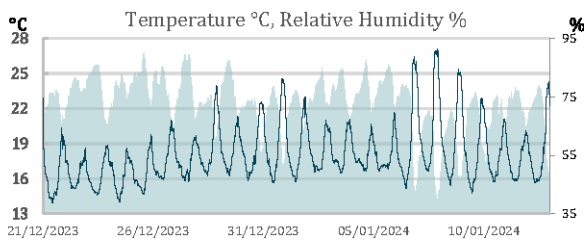


Figure 4: Measurements made near the summer solstice in 2024.

Simulation and modelling

The simulation process begins by organizing building material and height data into an Excel table. The study area is then modeled using a georeferenced AutoCAD drawing, linked with QGIS to be saved as a "shapefile." This file is imported into "Monde," the input subprogram of ENVI-met, and follows the program workflow (see Figure 5).

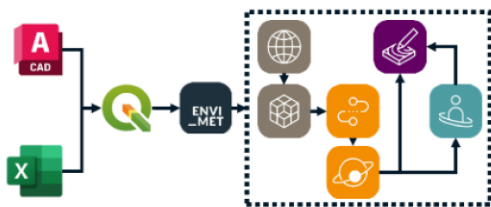


Figure 5: Workflow used from initial information processing to obtaining simulation results.

Climate Simulation in ENVI-met

The ENVI-met version 5.6.1 Winter23 was used for this research, this three-dimensional microclimate simulation software integrates various climate study approaches. Due to its limitations, it is recommended for small urban areas,

such as neighborhoods, with a maximum simulation time of 24-48 hours (Shabahang et al., 2021).

System Requirements

For optimal performance, the recommended hardware includes a 6 or 8-core processor (Intel i5-8400, Ryzen 5 1600X, or higher), 32 GB of RAM, Windows 10 or later, and over 100 GB of disk space. This research used an HP ENVY 15-ep00011a laptop with an Intel i7-10750H processor, 16 GB of RAM, and Windows 11.

Modeling

Table 1: Physical characteristics of the ENVI-met materials used in the model.

Material	Absorption	Transmission	Reflection	Emissivity	Specific Heat	Thermal Conductivity	Density
Zinc new	0,65	0,00	0,35	1,30	880	203	2700
Zinc old	0,90	0,00	0,10	2,00	880	203	2700
Zinc green	0,76	0,00	0,24	1,80	880	203	2700
White Enamel	0,14	0,00	0,86	0,95	1470	0,20	1440
Red Enamel	0,63	0,00	0,37	0,95	1470	0,20	1440
Ivory Enamel	0,21	0,00	0,79	0,95	1470	0,20	1440
Blue Enamel Azul	0,88	0,00	0,12	0,95	1470	0,20	1440
Green Enamel	0,51	0,00	0,49	0,95	1470	0,20	1440
Grey Enamel	0,40	0,00	0,60	0,95	1470	0,20	1440
Pink Enamel	0,40	0,00	0,60	0,95	1470	0,20	1440
Dark Blue Enamel	0,55	0,00	0,45	0,95	1470	0,20	1440
Machine-pressed brick	0,60	0,00	0,40	0,90	840	0,30	1000
Reinforced concrete	0,70	0,00	0,30	0,90	840	1,30	2000
Wood Partition 2x3	0,42	0,12	0,46	0,90	1209	0,87	1687
Steel (one layer)	0,30	0,00	0,70	0,10	420	45	8000

The original case was modeled as a reference for comparing intervention strategies. "Monde" was used to import data and configure the map (350x350 m, grid cells of 4x4x3 m). In "Spaces," the final model adjustments were made, including soil type, existing vegetation, and proposed interventions. As for the materials used for the model, were mostly custome materials to be closer to the constructive reality of the Chile and the city. The characterisctic of this materials are shown in Table 1, and the soils used in Table 2.

Table 2: Physical characteristics of the ENVI-met soils used in the model.

Soils	Albedo	Emissivity
Concrete Pavement Gray	0,30	0,90
Pavement (Concrete), used/dirty	0,25	0,90
Pavement White	0,80	0,95

Simulation Settings

The "ENVI-guide" module configured the simulation using weather data from "Climate.OneBuilding.", selecting Rodelillo meteorological station. The summer solstice was selected as the simulation date, starting at 9:00 AM for 24 hours, representing the hottest day. We used "full forcing" option in Envi-Met for climate input data, each simulation took approximately 12 hours to complete.

Even though ENVI-met is a powerful microclimate simulation tool that provides a high degree of accuracy and supports a wide range of analyses, including various comfort indices. Its complexity can lead to potential errors, and limitations in its interface may hinder configuration and modeling efficiency. Therefore, an extended calibration phase is crucial to ensure reliable results during the simulation process.

Output data

The variables to be studied depend mainly on two criteria, first, the objectives of this research, and second, the range of results that the selected climate simulation software, ENVI-met, is capable of calculating.

As for the first criteria, given that one of the central axes of this research is the characterization of the urban climate and the evaluation of mitigation strategies to reduce the effect of heat islands, the analysis will focus on variables related to temperature.

ENVI-met is an extremely complete program, in Table 3 you can see all the categories of files that the program delivers at the end of the simulation, each of these contains a large number of climatic variables that it has calculated for the model. Since this research focuses on urban climate, the "AT" files (see Table 3) of atmospheric data are taken for analysis. Within the list of information provided in these files (see Table 4), the variable "Potential air temperature" is selected for the analysis and evaluation of the proposals for intervention strategies to be studied.

Table 3: General description and generalities of binary files.

ID	Content	Comment
AT	Atmospheric data	3D data, main state of the atmosphere with most of the variables it contains
FX	Surface Data and Surface Flows	2D data describing the state and flows on the ground surface
UNDER	Soil Data	3D data on the condition of the soil model, mainly soil temperature and water
VEG	Vegetation data	Plant data such as leaf temperature in the context of the 3D model, detailed data of observed plants are additional text files from.
BLDG_s	Creating static data	Static building data such as material properties (STATIC Subfolder)
BLDG	Dynamic Data Creation	Dynamic building data, such as wall temperatures or façade condition (DYNAMIC Subfolder)
POLU	Pollutants	3D data containing air pollutants, including chemical conversion rates, if used
RD	Radiation Data	3D data with detailed information on shortwave and longwave radiation fluxes
BIO	Datos de BIO-met	Data generated by BIO-met
SA	Solar Access	Solar Access Data for Ground Level and Biomet
SAFAC	Solar access on facades and roofs	Solar access for individual facades/roofs and walls

Table 4: List of variables delivered by AT files.

Variable	Unit	Variable	Unit
Objects	-	Specific humidity	g/kg
Flow u	m/s	Relative humidity	%
Flow v	m/s	TKE	m ² /m ³
Flow w	m/s	Dissipation	m ³ /m ³
Wind Speed	m/s	Medium radiant temperature	°C
Wind speed change	%	Vertical exchange coefficient Impulse	m ² /s

Wind direction	degrees	Horizontal exchange coefficient Impulse	m ² /s
Pressure disturbance	Pa	Direct shortwave radiation	W/m ²
Potential air temperature	°C	Diffuse shortwave radiation	W/m ²
Air Temperature Delta	K	Reflected shortwave radiation	W/m ²
Air temperature change	K/h	Air temperature change through low-pressure water cooling	K/h

Interventions proposal

The study compare three main intervention strategies: green infrastructure; blue infrastructure; and albedo strategies.

Green Infrastructure

The green infrastructure strategies were four in total, the integration of vegetation, that is, the use of trees and grass on the available soil, the second scenario consists of the addition of green roofs on the selected buildings, while the third was the integration of green facades, finally a scenario was modeled by mixing all the proposals (Figure 6). In accordance to the proper parameters for a intervention in a historic building, the greenery simulated considered the necessary requirements, for instance the green roof used was an "extensive green roof", for its lighter nature, as for the green façades a system that is supported on the ground instead of the façade it self was selected.

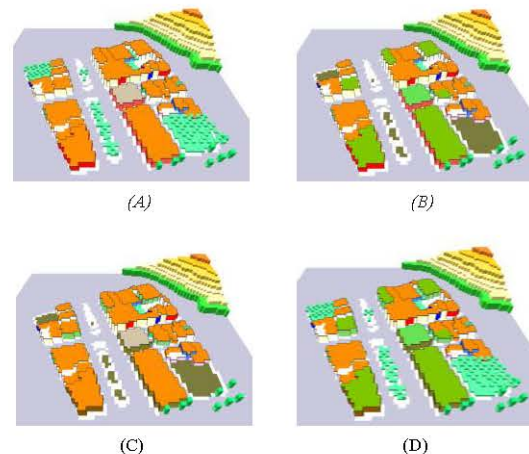


Figure 6: (A) Model of the case of vegetation integration, (B) Model of the case of integration of green roof, (C) Model of the case of integration of green façade, (D) Model of the case of integration of vegetation mix.

Blue Infrastructure

The blue infrastructure strategy was a single one, being the integration of water fountains in public spaces (Figure 7) for climate control, hoping, if effective, to have a regulating effect on the microclimate (Bell et al., 2022).

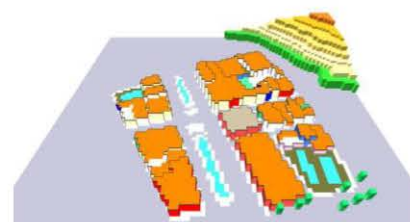


Figure 7: Model of the case of water integration.

Albedo strategies

There were three albedo strategies in total, the first being the increase in pavement reflectivity, the second scenario consisted of increasing the reflectivity of the roofs of the selected buildings, while the third consisted of increasing the reflectivity of the facades (Figure 8).

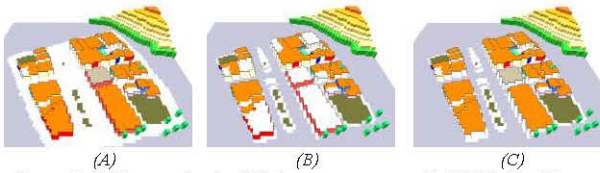


Figure 8: (A) Pavement reflectivity increases case model, (B) Model of the case of increased reflectivity on roofs, (C) Case model of increased reflectivity in facades.

Results and discussion

After executing the simulation for each strategy, the results were analyzed using Leonardo, an ENVI-met subprogram. Result graphics were generated for 09:00, 13:00, 17:00, 21:00, and 01:00, illustrating the differences in Potential Air Temperature between each strategy and the original scenario. These analyses were conducted at a height of 1.50 meters from the ground level. The measurement scale for the graphs consisted of ten steps, starting at 0.00 and increasing by 0.06°C per step (see Figure 9).



Figure 9: Detail of the steps of the colour scheme for the comparative analysis of the potential air temperature between the original case and each of the intervention strategies.

Green Infrastructure

While the intervention strategies produced similar maximum temperature reductions, the area of influence varied significantly. From this perspective, the combination of integration of vegetation had the most substantial impact (see Table 5, 6, 10). In terms of specific maximum reductions, vegetation integration achieved the highest difference, with a 0.55°C decrease at 17:00. However, the most significant results were obtained through the combined implementation of all strategies, yielding the largest area of influence and the highest temperature reduction of 0.76°C at 17:00.

Table 5: Results of each of the integration of green infrastructure, comparing the potential air temperature with the original case in the XZ plane

Vegetation	17:00	
	j=29	
Green Roof	01:00	
	j=30	
Green Facade	17:00	
	j=34	
Green infrastructure mix	17:00	
	j=37	

Table 6: Results of each of the integration of green infrastructure, comparing the potential air temperature with the original case in the YZ plane

Vegetation	17:00	
	i=71	
Green Roof	01:00	
	i=58	
Green Facade	17:00	
	i=53	
Green infrastructure mix	17:00	
	i=68	

Blue Infrastructure

As shown in Table 7, 8 and 11, the integration of blue infrastructure had a minimal impact, both in terms of its area of influence and the maximum reduction in Potential Air Temperature, reaching only 0.13°C at 17:00. This limited effect can be attributed to the study area's proximity to the Pacific Ocean.

Table 7: Results of each of the integration of blue infrastructure, comparing the potential air temperature with the original case in the XZ plane

Water integration	13:00	
	j=48	

Table 8: Results of each of the integration blue of infrastructure, comparing the potential air temperature with the original case in the YZ plane

Water integration	13:00	
	i=18	

Albedo Strategies

Three strategies for albedo modification in buildings and urban space were analyzed: increasing pavement reflectivity, increasing roof reflectivity, and increasing façade reflectivity. The interventions on roofs and façades yielded similar results in terms of maximum temperature reductions (see Table 9, 12, 13). However, increasing pavement reflectivity had the greatest impact, both in terms of the affected area and the maximum temperature reduction, achieving a 0.54°C decrease at 17:00.

Table 9: Results of each of the reflectivity strategies, comparing the potential air temperature with the original case in the XZ plane

Pavement	17:00	
	j=22	
Roof	01:00	
	j=30	
Facade	21:00	
	j=20	

Table 10: Results of the integration of green infrastructure strategies, comparing the potential air temperature with the original case.

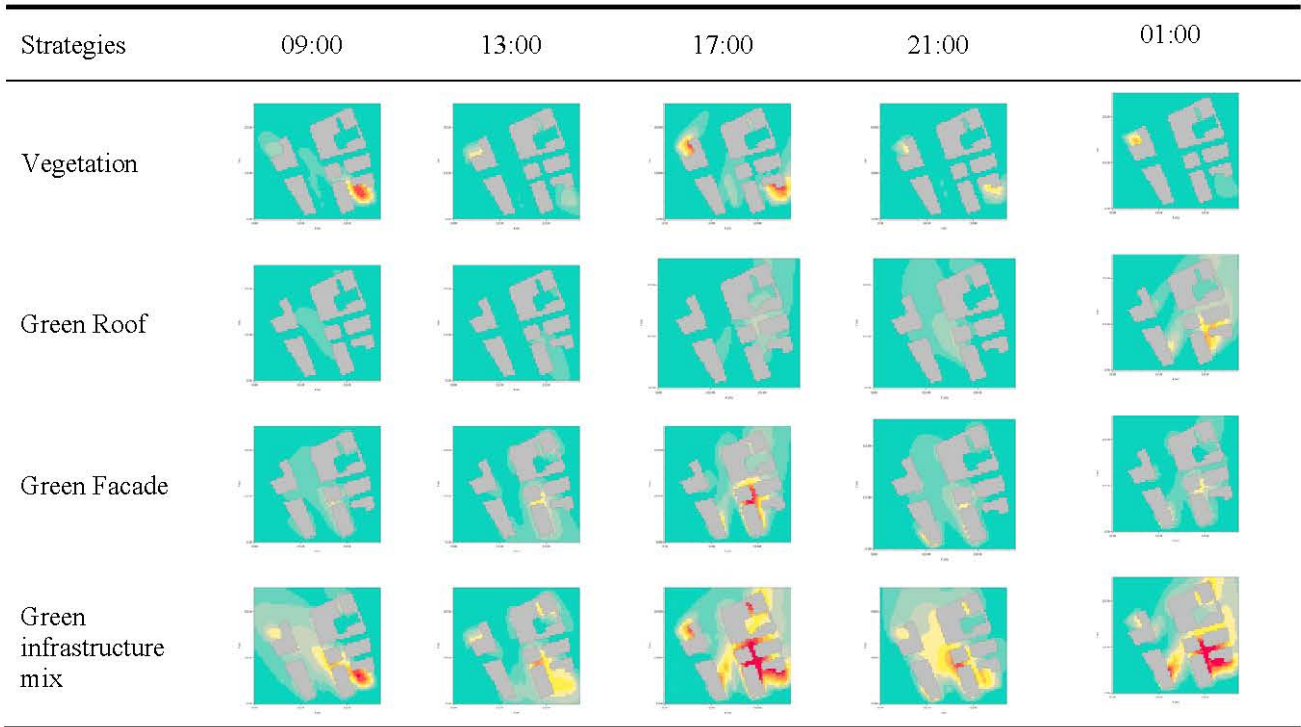


Table 11: Results of the integration of blue infrastructure strategies, comparing the potential air temperature with the original case.

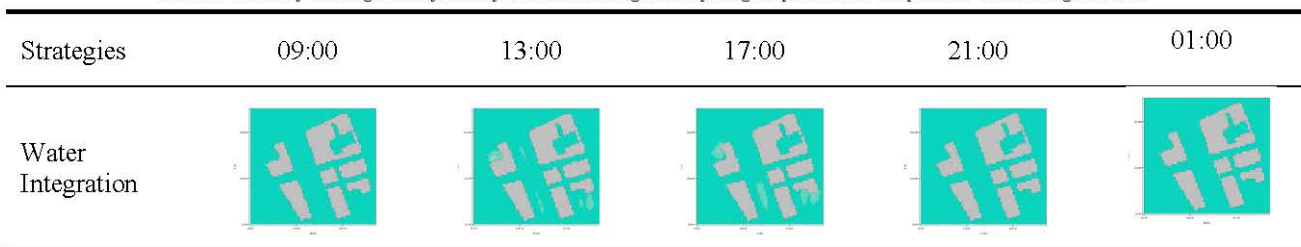


Table 12: Results of the integration of green infrastructure strategies, comparing the potential air temperature with the original case.

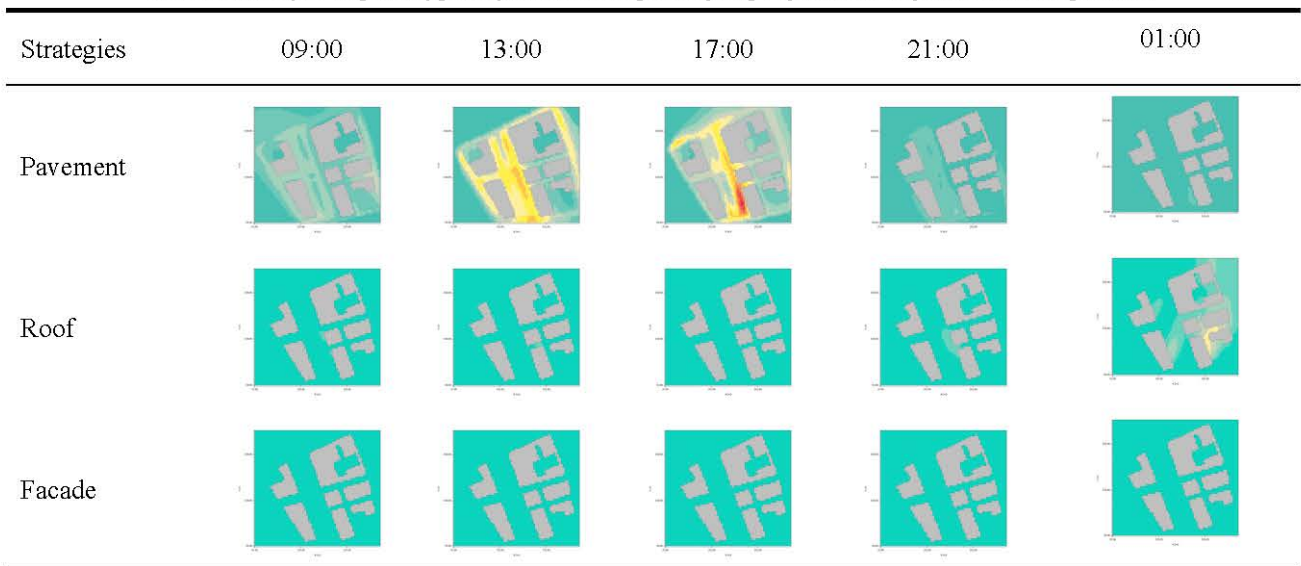
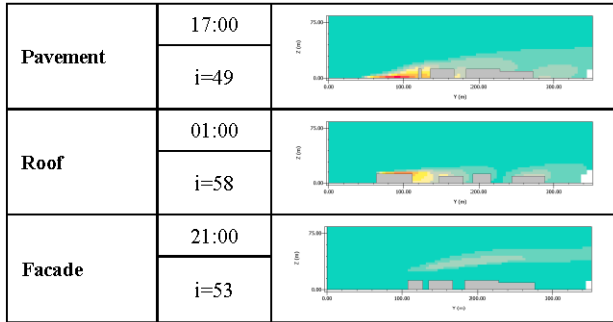


Table 13: Results of each of the reflectivity strategies, comparing the potential air temperature with the original case in the YZ plane



- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| (1) Vegetation Integration (17:00) | (5) Water Integration (13:00) |
| (2) Green Roof (01:00) | (6) Pavement Reflectivity (17:00) |
| (3) Green Facade (17:00) | (7) Roof Reflectivity (01:00) |
| (4) Mix of Vegetation (17:00) | (8) Facade Reflectivity (21:00) |

According to these criteria, the strategy with the best performance was again the combination of vegetation, with 53% of the area experiencing a temperature difference greater than 0.3°C. It was followed by the pavement reflectivity strategy, with a 40% range of effect. In contrast, the strategies of integration of water, reflectivity in roofs and reflectivity in facades did not have an impact on temperature variations greater than 0.3°C

Summary of Results

All strategies contributed to some extent to urban climate regulation. However, the most effective approach was the integration of green infrastructure, which had the most extensive impact on the urban fabric. Notably, different strategies exhibited complementary effects. For example, between 13:00 and 01:00, the impact of vegetation integration and green façades followed a similar trend, but after this period, the effect of vegetation increased while the effect of green façades diminished. This complementary behavior aligns with previous studies, reinforcing the importance of combining strategies for optimal urban climate control (Tseliou et al., 2022).

The most effective strategy was the integration of green infrastructure, achieving a 0.76°C reduction at 17:00. The green façade strategy ranked second, with a 0.57°C reduction at 17:00. The least effective intervention was the integration of blue infrastructure, which resulted in only a 0.13°C reduction at 13:00 (see Figure 10).

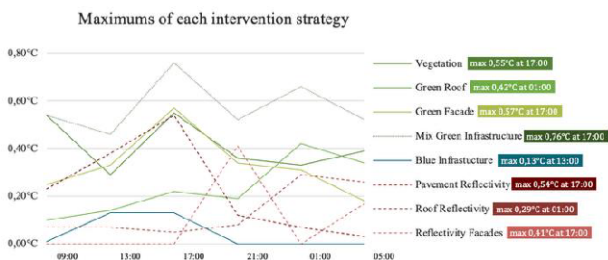


Figure 10: Maximums achieved for each intervention over the 24-hour window.

Range of effect on temperature variation

Once the maximum temperature difference achieved had been analysed, the next step in the research was to evaluate the range of effect of each strategy. Figure 11 presents a summary of the percentage of affected area in each range of potential air temperature difference.

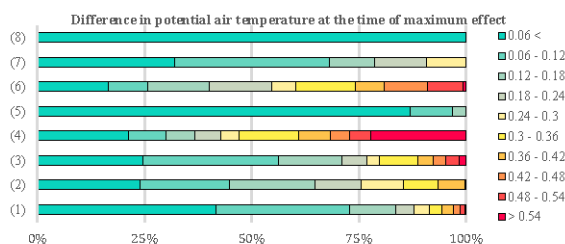


Figure 11: Synthesis of the results of the range of effect on temperature variation for all scenarios

Conclusions

1. The results obtained not only indicated the superior effect of the green infrastructure over the other studied strategies for coastal cities such as Valparaíso, but make evident the impact of combining strategies, and there for the need to further this line of study.
2. A comprehensive understanding of urban microclimate variables is essential for effective analysis. In this regard, the combination of in situ measurements (both short-term and long-term) with simulation software has become an indispensable approach in this field of research.
3. When designing nature-based intervention proposals for heritage buildings and spaces, it is crucial to conduct an in-depth analysis of their values and attributes to ensure their preservation and integrity. Integrating nature-based solutions (NBS) into historic structures presents significant technical challenges (Cappello et al., 2022) and demands a meticulous, thoughtful approach to safeguarding their defining elements. However, this process is neither unattainable nor should it be disregarded. On the contrary, adapting buildings and neighborhoods is increasingly necessary, not only to align with sustainable development goals but also to preserve neighborhood and urban identities while enhancing the value of built heritage.
4. Although the air temperature variations observed in each simulation of the intervention proposals were relatively minor, significant differences were noted in their spatial distribution, both in plane (XY) and in elevation (XZ or YZ). While the maximum temperature variation between proposals was not substantial, the cumulative impact of combining multiple interventions was markedly greater.
5. Furthermore, given the diversity of global climates, it is important to recognize that climate control strategies effective in one region may be less efficient or even counterproductive in another. Therefore, comprehensive studies across different contexts are essential to advancing global objectives for mitigating climate change and its effects.

Acknowledgement

The research and the results shown here are part of a bigger ongoing investigation, different stages of the main study have been presented a retrofitted by previous Building Simulation Conferences.

References

- Akande, O. K., Odeleye, D., & Coday, A. (2014). Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(2), 237–250. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250>
- Bell, S., Fleming, L. E., Grellier, J., Kuhlmann, F., Nieuwenhuijsen, M. J., & White, M. P. (Eds.). (2022). *Urban Blue Spaces; Planning and Design for Water, Health and Well-Being* (1st Edition). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.4324/9780429056161>
- Cappello, C., Giuffrida, S., Trovato, M. R., & Ventura, V. (2022). Environmental Identities and the Sustainable City. The Green Roof Prospect for the Ecological Transition. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912005>
- Carrasco, X. U. (2016). La colonización vertical en Valparaíso. Etapa inicial. *HYBRIS. Revista de Filosofía*, 7, 97–127. <https://doi.org/10.5281/zenodo.58621>
- ICOMOS Brazilian Committee. (1987). First Brazilian Seminar about the Preservation and Revitalization of Historic Centers; Itaipava - 1987. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/194-first-brazilian-seminar-about-the-preservation-and-revitalization-of-historic-centers-itaipava>
- ICOMOS. (1967). The Norms of Quito-1967 Final Report of the Meeting on the Preservation and Utilization of Monuments and Sites of Artistic and historical Value held in Quito, Ecuador, from November 29 to. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/168-the-norms-of-quito>
- ICOMOS General Assembly. (1964). International Charter on the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (Venice Charter, 1964). 2nd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964.
- Mendez B., L. M. (1987). Plazas y parques de Valparaíso: transformaciones en el micro paisaje urbano. In *Valparaíso (1820-1920)* (pp. 21–44). Instituto de Historia Universidad Católica de Valparaíso.
- Sánchez, M. A., Bosque, M. J., & Jiménez, V. C. (2009). Valparaíso: Su geografía, su historia y su identidad como Patrimonio de la Humanidad. *Estudios Geograficos*, 70(266), 269–293. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0445>
- Santi, G., & Battini, S. (2019). Green roofs to improve the energy renovation resilience of historic buildings. *Interdependence between Structural Engineering and Construction Management*.
- Shabahang, S., Vale, B., & Gjerde, M. (2021). A Simulation Method for Studying Urban Heat Islands at the Urban Scale. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 203, 115–126. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8783-2_9
- Tseliou, A., Koletsis, I., Pantavou, K., Thoma, E., Lykoudis, S., & Tsiros, I. X. (2022). Evaluating the effects of different mitigation strategies on the warm thermal environment of an urban square in Athens, Greece. *Urban Climate*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101217>
- Ugarte Yávar, J. de D. (1910). *Valparaíso: 1536-1910 : recopilación histórica, comercial y social*. Imprenta Minerva.
- Yüceer, H., & Ipekoğlu, B. (2012). An architectural assessment method for new exterior additions to historic buildings. *Journal of Cultural Heritage*, Volumen 13(Número 4), 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.12.002>

Comparative Study of Nature-based Intervention Strategies for Urban Climate Control Using the ENVI-met Climate Simulation Software

Pamela Muñoz Ossandón¹[0009-0000-3393-270X] and Massimo Palme²[0000-0003-1166-2926]

¹ Architecture Department, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile

² Sustainable Engineering Doctorate Program, Universidad Católica del Norte, Chile
pamela.munoz@usm.cl

Abstract. In the global scheme for the mitigation of the climate change there is much to be achieved still, as architect, urbanist and researchers of the field, the control of urban climate is an essential subject to tackle in support of this global goal. Therefore, the extensive study of different intervention strategies, not only to learn and implement all the range of viable solutions for the urban climate control, but also to learn which are the most effective and appropriate for each specific case should be an important research focus. This research compares the effects of the integration of different nature-based mitigation strategies in a sector of “El Almendral” a historic neighborhood of the coast of Valparaíso in Chile. The proposals consider exterior intervention on selected buildings and public space present in the study area, these interventions respect the local regulations for historic conservation and international guidelines established by organizations preoccupied with the world heritage conservation. These strategies were simulated with the climate simulation software ENVI-met, which provided several parameters as results, such as air temperature, mean radiant temperature, relative humidity, wind speed, among many more, each strategy simulation result was compared to the original case simulation to evaluate the improvement obtained. The research of mitigation strategies brings invaluable insight into the climate change problem providing guidelines for the development of new public policies and overall recommendations for the control of urban climate.

Keywords: Nature-based solutions, Urban Climate Control, ENVI-met.

1 Introduction

One of the main phenomena produced by the global climate change is the Urban Heat Island (UHI) and as such, there has been many studies over the last years, nevertheless there is still a lot to learn about it [1], the main lines to address these studies is through simulations and on site measurements, although it is highly recommended to combine both approaches. The study of urban climate has indeed many struggles, which arise from the complexity of the variables regarding climate itself, the changes in wind fluxes for one, are very difficult to properly predict because its high variability making it hard to model accurately, between the many simulation software available today a

very suitable options for urban microclimate studies is the ENVI-met software [2], given its capability to combine fluid dynamics and thermodynamics calculations [3] to obtain more rich and complete results, even been able to use sub-programs such as BIO-met to use the climate simulation results (air temperature, mean radiant temperature, relative humidity, wind speed and direction, etc.) to calculate some of the most recognized thermal comfort index if desired [4].

According to the reports [5] of the United Nations (UN), the need for a broad range of solutions towards a low and zero-carbon building is reiterated, and to achieve this global goals for the mitigation of climate change [6], there is a great untapped potential of the intervention of the built heritage [7, 8], instead of only focusing on developing new standards and guidelines for new construction. Even though European countries are far more advanced in these policies [9], climate studies are very much tied to its context, thus more extensive research through different geographical zones with different types of climates, allow us to have a more comprehensive understanding of the global climate outlook and how to implement adequate urban control strategies for each specific context. Latin American countries, for instance, have much work to do still in the study and implementation of urban climate control strategies, been increasingly vulnerable to the effects of climate change due its socioeconomic realities, it is truly urgent to develop the resilience of its cities.

2 Study case: “el Almendral” neighborhood

For the comparative analysis of the intervention strategies, it was selected an area of the neighborhood “el Almendral” in the coastal city of Valparaíso in Chile. The reason for this selection lies in the fact that it is a representative sector of the city [10], it is in the union of the plane sector of the city with the hills, which are a very predominant characteristic of the topography of the city, it is near by the ocean and its effect on the urban climate [11], it is one of the historic centers of the city and as such is in a conservation zone, and finally, its urban space has great potential for improvement.

2.1 Location

Inside the neighborhood of “el Almendral” the polygon of the specific study area is delimited in the north by “Quillota” Street and “Yungay” Street, then by “Eusebio Lillo” Street in the East, “Pedro Montt” Avenue in the south, and “12 de Febrero” Street in the west, as shown in the figure 1. Given the complexity of climate simulation and the limitations of the equipment available to work, the decision was made to select some buildings and zones within the study area to integrate different interventions, nine buildings and sites were chosen for its representativeness and interest to be intervened, within these, there are four buildings of historical conservation status (see Fig. 1).



Fig. 1. Study area in the neighborhood “el Almendral” showing the selected buildings and sites.

2.2 Climate

According to the climate classification of Köppen, Valparaíso corresponds to a "Mediterranean oceanic" climate (Csb), this climate is characterized by temperate temperatures and low precipitation [12]. According to this classification the temperature of the warmest month greater than or equal to 10 °C, and temperature of the coldest month less than 18 °C, but greater than -3 °C, the average precipitation in the driest month of summer is less than 30 mm and less than one third of the average of the wettest month of winter and the temperature of each of the four warmest months is 10 °C or more, but the warmest month less than 22 °C [13].

3 Methodology

The methodology of this research had five main phases, the first one is the on terrain investigation, in which the data was collected through the use of photographs of the buildings and the study area, and the use of a drone for a photogrammetric survey to have a more clear view of the roof characteristics and state, it also allow to obtain a quick 3D model of the area to get a more complete and accurate information of the buildings and public space.

The following phase was the source investigation, these meant the review of information in different available sources, being the most important to the characterization of the study area the research done in the Municipal Construction Office archives at City Hall, and at the urban heritage database of the Ministry of Housing and Urbanism [14].

After the collection of data was completed, all of it was process in a database created in Excel, for a more systematic access to the information and its use in various stages of the research.

Once all the data was organized and cataloged, the simulation stage begun with the modelling of the study area starting with a georeferenced AutoCAD drawing of the city, then in QGIS the georeferenced drawings were linked to values from the database registered in Excel, specifically the identification number, height, and materials for each building. The georeferenced drawings linked to the database information was saved in a shape file ready to be imported to ENVI-met.

Finally, after getting the results of the simulation from ENVI-met begins the final phase of analysis of the results.

4 Climate Simulation in ENVI-met

As established the climate simulation tool utilized for this research was ENVI-met, the version used was the 5.6.1 Winter23, this software is a three dimensional microclimate simulation software, which at its core aims to integrate different approaches and types of climatic studies to obtain a more complete understanding of the urban climate of a determined context.

The complex and complete calculation matrix of this software has some limitations regarding the simulation process, there for the recommendations in the use of this tool is to limit the study area to a neighborhood or small portion of a city, and the maximum simulation time should be around 24 to 48 hours[1].

4.1 Requirements

The ENVI-met team has given several recommendations regarding the hardware utilized to run the simulations to get the most out of the software capabilities. The recommendation for the optimum use of the software is to have at least a modern 6 or 8 core CPU, Intel i5-8400, Ryzen 5 1600X or better, 32 GB of RAM or more, Windows 10 64-Bit or better OS, and more than 100 GB of available disk space. For the simulation run for this research it was used a Notebook HP ENVY 15-ep0001la, with an Intel(R) Core (TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz processor, 16 GB of RAM, Windows 11 64-Bit, and more than 100 GB of available on a SSD.

4.2 Modeling

Inside ENVI-met, there are several sub programs for the different steps in the simulation process, the first of these used was Monde, which works as an importing tool for the main software, after importing the shape file previously obtained the map configuration was established, using a map size of 350x350 meters, and the size of the grid cells in meters correspond to $dx=4$, $dy=4$, and $dz=3$. After transforming the imported data to the proper format used in ENVI-met, the work continues in Spaces, it is here where the final steps of the model design were made, the type of soil present, the vegetation in the study area and later the integration of different vegetation according to the intervention proposals. This investigation studied the effects of the integration of Nature-Based Solutions (NBS) [15] on Historical Conservation Zones, considering the regulations and standards for the conservation of buildings and historic areas given by national [16] and international organizations [17]. Eight intervention strategies were model for its study, plus the model of the original case to compare the improvement of each scenario against the initial state of the urban climate. The first four strategies consist of green infrastructure integration, the first case is the integration of vegetation in the selected public space, the second case was the integration of green roof in the selected buildings, the next one was the integration of green façade in the selected buildings, and finally the fourth proposal was the integration of all the green infrastructure strategies in one model. The next strategy to model was the blue infrastructure, integrating sources of water in the public spaces. The final group of interventions was regarding the

reflectivity of the surfaces of the urban fabric, the first of these was augment the reflectivity of the pavement, then the reflectivity of the roofs, follow by the reflectivity of the facades.

4.3 Simulation Configuration

The simulation tool inside ENVI-met is called ENVI-guide and it is used to set the simulation configurations, which are date and climate information, the climate data for the simulation was obtained from “Climate.OneBuilding”, while the simulation date is set for the summer solstice starting at 9:00 AM for a period of 24 hours, as is expected to be a representative date for the hottest day, each simulation took around 12 hours to complete.

5 Results and Discussion

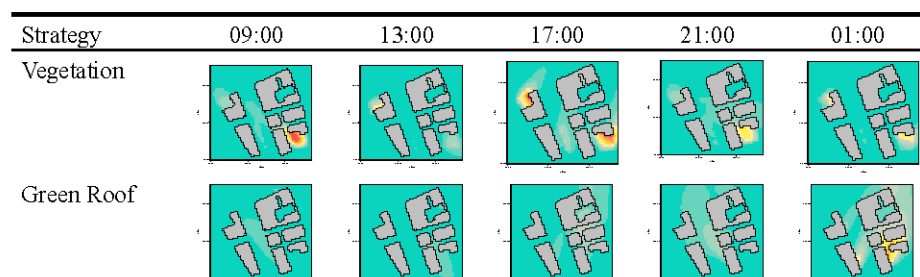
After running the simulation for each strategy, the results were interpreted in Leonardo, another the sub programs of ENVI-met, here were generated maps for 09:00, 13:00, 17:00, 21:00, and 01:00, which shown the difference of Potential Air Temperature of each strategy against the original case, the high at which these analyses were made is 1.50 meters. The measurement scale for the graphics was of ten steps starting at 0.00 and adding 0.06°C every step (see Fig. 2).



Fig. 2. Detail of the steps of the color scheme for the comparative analysis of the potential air temperature between the original case and each intervention strategies.

5.1 Green Infrastructure

The green infrastructure strategies were four in total, been, integration of vegetation, that is to say the use of palm trees as there are already presents in others areas of the city and have suitable characteristics for climate control, and grass on available soil, the second scenario consist in the addition of green roofs on the selected buildings, while the third was the integration of green facades, finally a scenario was model mixing all the proposals.



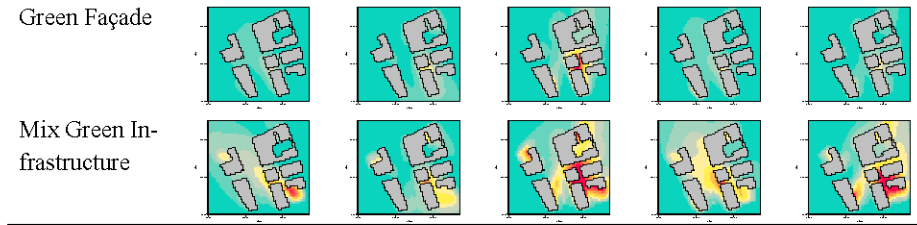


Table 1. Results of the integration of green infrastructure strategies, comparing the potential air temperature with the original case.

The effects of each of the intervention strategies give similar results regarding the maximums achieved for each intervention, however the range of the area effect of each intervention varies considerably, from this perspective the strategy with major impact is the integration of vegetation (see Table 1). As for the punctual maximums achieved yet again the vegetation integration gets the bigger result with 0.55°C at 17:00 hours. Nevertheless, the more meaningful results of these set of simulation are in the integration of all the previous strategies, as expected, getting the bigger influence area and the biggest maximum in the differences in the potential air temperature with 0.76°C at 17:00 hours.

5.2 Blue Infrastructure

The blue infrastructure strategy was only one, been the integration of sources of water in the public spaces for the control of control climate, expecting, if effective, to have a regulating effect in the microclimate [18]. In the table below it is shown all the results for the potential air temperature difference between the strategy and the original case at several hours throughout the 24 hour simulation cycle.

Strategy	09:00	13:00	17:00	21:00	01:00
Water source					

Table 2. Results of the integration of blue infrastructure strategies, comparing the potential air temperature with the original case.

As seen in the previous table (Table 2) the impact regarding the blue infrastructure integration is not incredibly significant neither in range in the area of influence or the maximum difference in potential air temperature achieved, getting a maximum difference only of 0.13°C at 17:00 hours. These results may relate to the closeness of the study area with the Pacific Ocean by the coast, figure 3 shows a map of the distribution of the relative humidity of the area, built using on site measurements taken during May

2nd, 2024, the measurements were taking in 10 points of this area of the city, then the data points were interpolated in QGIS to obtain it. This map not only shown the high humidity caused by the effect of the ocean, but also how does it changes the further away from the coast and up the hills.

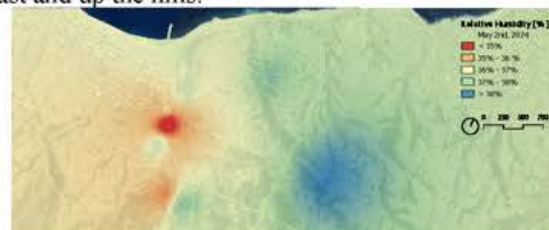


Fig. 3. Relative humidity map distribution built from punctual on site measurements on May 2nd, 2024.

5.3 Reflectivity strategies

The reflectivity strategies were three in total, been, augmenting the reflectivity of the pavement, the second scenario consisted in augmenting the reflectivity of the roofs on the selected buildings, while the third consisted in augmenting the reflectivity of the facades.

Strategy	09:00	13:00	17:00	21:00	01:00
Pavement					
Roof					
Façade					

Table 3. Results of the integration of reflectivity intervention strategies, comparing the potential air temperature with the original case.

The effects of each of the intervention strategies in the roofs and the facades give similar results regarding the maximums achieved for each intervention, and the maximums in the potential air difference achieved (see Table 3). However, the intervention on the street had a bigger impact in the range of area effect and in the maximum potential air temperature difference achieved been at 0.54°C at 17:00 hours.

5.4 Analysis Synthesis

All of the strategies had at least some effectivity towards the urban climate control goal, nevertheless there is a clear type of strategies that had a higher and more extensive effect on the urban fabric and that is the integration of green infrastructure. Regarding these results is important to understand the way that these strategies complement each other as was the case for other studies as well [2], for instance, the integration of vegetation and green façade integration behaved similar between 13:00 and 01:00, but after that point the effect of vegetation starting to rise again while the effect of green façade started to decay. This is to say that there is a clear complementary behavior that must be taken advantage of in order to get the best possible outcome for the control of urban climate, at the moment of plan interventions on the urban fabric.

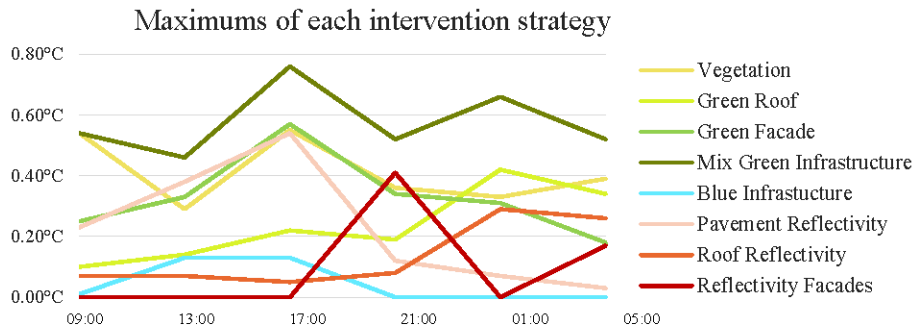


Fig. 4. Maximums achieved for each intervention throughout the 24 hour window.

Main Strategies	Detailed strategies	Maximum difference in the potential air temperature	Time
Green Infrastructure	Vegetation	0.55	17:00:00
	Green Roof	0.42	1:00:00
	Green Façade	0.57	17:00:00
	Mix Vegetation	0.76	17:00:00
Blue Infrastructure	Water integration	0.13	13:00:00
Reflectivity strategies	Pavement	0.54	17:00:00
	Roof	0.29	1:00:00
	Façade	0.41	21:00:00

Table 4. Summary of the maximums in the potential air temperature difference between the original case and each intervention, marking the strategy with the biggest effect in light blue.

6 Conclusions

While studying the urban microclimate its imperative to have the most complete understanding of its variables as possible, therefore the use of on site measurements, either punctual or over a lengthy period of time, and the use of simulation software, have become invaluable tools for these endeavors.

ENVI-met is a powerful microclimate simulation tool, with a considerable level of precision and an extensive analysis catalog, including several comfort indices. However, the complexity of ENVI-met can lead to bugs in the process, besides the limitations in its interface can slow down the set up and modelling. Therefore, its essential while working with this software consider a long window of calibration in the timetable.

It is recommended that for future research, alongside the climate variable calculation such air temperature, wind velocity, relative humidity, and mean temperature, to name a few, this results be complemented with several comfort index such as PMV or PET to have a more accurate and complete assessment of the microclimate and its effects on the citizens [19].

It is essential to recognize that there are many climate present around the world, there for is to be expected that the strategies for climate control that were successful in one determined area may very well not work or even had negative impacts on other climatic zone, this is why an exhaustive research of different strategies in different context is vital to achieve the global goals for the mitigation of the climate change and its effects.

References

1. Shabahang S, Vale B, Gjerde M (2021) A Simulation Method for Studying Urban Heat Islands at the Urban Scale. In: Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp 115–126
2. Tseliou A, Koletsis I, Pantavou K, et al (2022) Evaluating the effects of different mitigation strategies on the warm thermal environment of an urban square in Athens, Greece. *Urban Clim* 44: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101217>
3. Balany F, Muttill N, Muthukumaran S, et al (2022) Studying the Effect of Blue-Green Infrastructure on Microclimate and Human Thermal Comfort in Melbourne’s Central Business District. *Sustainability (Switzerland)* 14: <https://doi.org/10.3390/su14159057>
4. Sola-Caraballo J, Lopez-Cabeza VP, Roa-Fernandez J, et al (2023) Assessing the microclimatic adaptation of a Modern Movement 1960s neighbourhood through its urban evolution. In: Building Simulation Conference Proceedings. International Building Performance Simulation Association, pp 2648–2655

5. United Nations Environment Programme (2022) 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi
6. UNESCO (2017) La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Paris
7. Akande OK, Odeleye D, Coday A (2014) Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 9:237–250. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250>
8. Fabbri K (2013) Energy incidence of historic building: Leaving no stone unturned. *J Cult Herit* 14. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.010>
9. Alves FM, Gonçalves A, Enjuto MRDC (2022) The Use of Envi-Met for the Assessment of Nature-Based Solutions' Potential Benefits in Industrial Parks—A Case Study of Argales Industrial Park (Valladolid, Spain). *Infrastructures (Basel)* 7. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7060085>
10. Victoria F, Umaña A (2021) Regeneración urbana en centros históricos
11. Espinoza PS, Romero H (2009) Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso (AMV). In: 5th International Conference Virtual City and Territory. Barcelona, pp 345–356
12. Sarricolea P, Herrera M, Meseguer-Ruiz O (2017) Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps* 13:66–73
13. Arnfield AJ (2023) Köppen climate classification. In: <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
14. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2005) Inmuebles y Zonas de Conservación Histórica de la Región de Valparaíso. In: <https://www.patrimoniourbano.cl/inmuebles-y-zonas-patrimoniales/region-de-valparaiso/>
15. Majidi AN, Vojinovic Z, Alves A, et al (2019) Planning nature-based solutions for urban flood reduction and thermal comfort enhancement. *Sustainability (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/su11226361>
16. CMN (Consejo de Monumentos Nacionales) (2019) Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas, 7° Edición. Consejo de Monumentos Nacionales, Santiago
17. Asamblea General de ICOMOS (1964) Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (carta de Venecia 1964). In: 2nd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964
18. Bell S, Fleming LE, Grellier J, et al (2022) *Urban Blue Spaces; Planning and Design for Water, Health and Well-Being*, 1st Edition. Routledge, London
19. Vessies F (2020) Green facades for cooling urban hot spots The cooling effectiveness of green facades on spaces adjacent to and inside dwellings in Amsterdam



Estrategias de intervención para el control del clima urbano: Integración de soluciones basadas en la naturaleza en el barrio histórico-patrimonial “el Almendral” de Valparaíso

Pamela Muñoz Ossandón, Massimo Palme

Antecedentes

En el contexto de los objetivos globales de mitigación, la búsqueda de nuevas estrategias es siempre apremiante. La industria de la construcción es responsable del 34% de la demanda energética y del 37% de las emisiones mundiales de CO₂. Por lo que resulta fundamental explorar nuevas áreas para la implementación de diversas estrategias de mitigación ante esta realidad. Es necesario explorar nuevas posibilidades para la implementación de intervenciones, con lo cual surge un inmenso potencial para la reducción de las emisiones de CO₂ y el consumo de energía que surge de la integración de estrategias de mitigación en edificios patrimoniales e históricos, es urgente pensar en la adaptación y la recuperación del ambiente construido con criterios que respondan a exigencias ambientales, además de los tradicionales vínculos de conservación histórica y patrimonial. Aunque los cambios en los edificios históricos o patrimoniales son una tarea inmensamente desafiante, si se enfocan en los valores, la autenticidad y la integridad del patrimonio construido, no solo es posible, sino que también puede recuperar su importancia y valor para las comunidades en las que se encuentra inmerso. En la implementación de intervenciones como esta también es importante considerar las leyes y regulaciones nacionales y locales, además de las directrices internacionales establecidas por organizaciones como ICOMOS o UNESCO.

Caso de estudio



Fig. 1: Imagen satelital de la ciudad mostrando la zona de estudio para la investigación.

La zona de estudio es seleccionada debido a ser representativa de la ciudad y su pertinencia a los parámetros de estudio, se encuentra en una zona de encuentro entre el cerro y el plan, es una zona histórica y cuenta su espacio urbano tiene un gran potencial de desarrollo. Esta zona aborda un sector del barrio “el Almendral” de Valparaíso, pertenecientes a las zonas de conservación histórica ZCHAL-V y ZCHAL-B, considerando desde la calle Eusebio Lillo hasta 12 de Febrero y desde la calle Quillota hasta Pedro Montt, considerando los edificios históricos y el espacio público en avenida Argentina. A su vez se escogen algunos edificios y sitios por su representatividad e interés para ser intervenidos, dentro de estos se encuentran cuatro inmuebles de conservación histórica.



Fig. 2: Edificios y sitios seleccionados dentro del área de estudio para integrar propuestas de intervención.



Fig. 3: Detalle de vegetación existentes en las cercanías de la zona de estudio, la cual es levantada a partir de una imagen obtenida en Google Earth.

Según la clasificación climática de Köppen Valparaíso corresponde a un clima “mediterráneo oceánico” (Csb), este clima se caracteriza por ser de temperaturas templadas y baja precipitación. Según esta clasificación la temperatura del mes más cálido mayor o igual a 10 °C y temperatura del mes más frío menor a 18 °C, pero mayor que -3 °C, la media de la precipitación en el mes más seco del verano es menor que 30 mm y menos que un tercio de la media del mes más húmedo del invierno y la temperatura de cada uno de los cuatro meses más cálido es 10 °C o más, pero el mes más cálido menos que 22 °C.

Metodología

La metodología de investigación tiene cinco etapas: (1) investigación en terreno, visitas al lugar, fotogrametría mediante drone, fotografías de las fachadas, entre otras. (2) Investigación de fuentes, revisión de varias bases de datos, incluido el archivo de la municipalidad, artículos, fichas de evaluación de edificios de conservación históricos y más. (3) Procesamiento de información, clasificación de la información y generación de una base de datos. (4) Evaluación, procesamiento de imágenes satelitales y simulación climática mediante el software ENVI-met. (5) Análisis de resultados, en otras palabras, análisis y discusión de los resultados obtenidos.



Conclusiones

Si bien la variación máxima de temperatura conseguida no varía mucho de una propuesta a otra, la magnitud de estas variaciones crece notablemente al combinar las propuestas de intervención. Es fundamental abordar los cambios de forma integral, estudiando e iterando las diferentes propuestas para obtener la combinación óptima para un caso determinado. A la hora de diseñar propuestas de intervención basadas en la naturaleza en edificios y espacios patrimoniales se debe realizar un estudio integral de sus valores y atributos, para respetarlos. La transformación de edificios y barrios se ha vuelto necesaria no sólo para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, sino también para rescatar identidades a escala barrial e incluso de ciudad, y más aún para poner en valor el patrimonio urbano y construido.

Resultados

Se utilizó imágenes satelitales para el análisis y caracterización de la zona de estudio. Se utilizan imágenes ráster de LANDSAT8, obtenidas a través de la herramienta EarthExplorer, eligiendo el día 24 de Diciembre de 2022 debido a que era la fecha más cercana al solsticio de verano disponible. A partir de las imágenes ráster de LANDSAT8 se realiza el cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST) para la zona de Valparaíso, donde se evidencia la concentración de altas temperaturas en la zona del plan de la ciudad. Por otro lado, se obtiene el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para el área de Valparaíso.

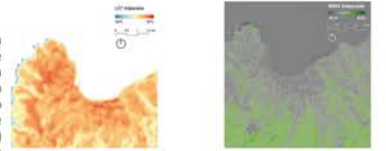


Fig. 4: Las partes verdes corresponden a las quebradas de los cerros, se puede ver que la temperatura de la superficie terrestre podemos observar la relación entre la presencia de vegetación y la temperatura.

Para el estudio y análisis de las propuestas de intervención se levanta un modelo utilizando planimetría de la ciudad geolocalizado desarrollada en AutoCAD, la cual es unida en QGIS a la base de datos registrada en Excel, cual cuenta con valores de altura, materialidad, identificación para cada edificio. Finalmente, el archivo obtenido después de este proceso es trabajado en las distintas instancias de ENVI-met para realizar las simulaciones de las distintas propuestas de intervención a estudiar en esta investigación.

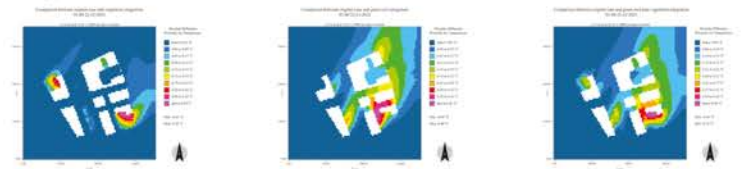


Fig. 5: Vista en planta de los resultados de la simulación ENVI-met del día 22.12.2023 a las 01:00, comparando el caso original y las propuestas.

Se realizaron cuatro simulaciones para integración de infraestructura verde en ENVI-met, el caso original, integración de techos verdes, integración de vegetación e integración de techos verdes más vegetación, cada una de las propuestas se comparó con el caso original para evaluar el margen de mejora para cada caso. La hora en la que la diferencia de temperatura del aire fue más notable fue la 01:00 AM, la vista en planta de los resultados muestra la diferencia en la extensión del área de influencia y la intensidad de la variación de temperatura obtenida para cada caso, el escenario de techo verde alcanza una variación máxima de temperatura de 0.40°C mientras que el escenario de vegetación solo alcanza una variación máxima de 0.32°C, además de esto la influencia del área del escenario de techo verde es considerablemente mayor que el escenario de vegetación y afecta diferentes áreas. El escenario mixto por su parte es el que mayor diferencia logra alcanzando una variación máxima de 0.53°C y el área de influencia es más extensa.

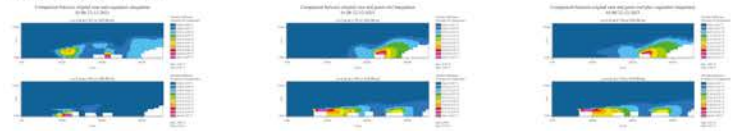


Fig. 6: Vista en elevación de los resultados de la simulación ENVI-met del día 22.12.2023 a las 01:00, comparando el caso original y las propuestas.

El conjunto de elevaciones de los resultados muestra la diferencia en la variación de la temperatura y el área de influencia con respecto a la altitud, para el escenario de techo verde el área de mayor intensidad de variación se concentra alrededor de los 15 metros de altura, mientras que para el escenario de vegetación el área de mayor intensidad de variación se concentra alrededor de 0 metros de altura o en otras palabras al nivel de la calle, para el escenario mixto el área de mayor intensidad de variación también se concentra alrededor de 15 metros de altura, pero ligeramente más extensa que el escenario de techo verde.

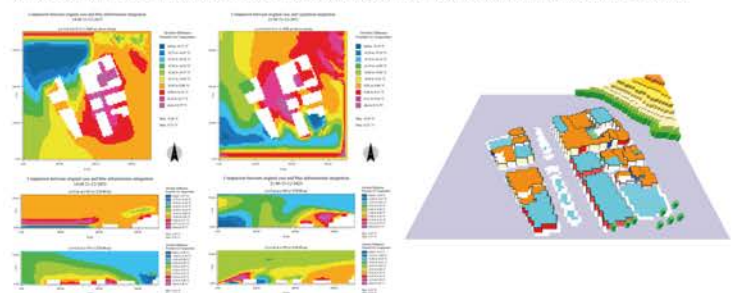


Fig. 7: Vista en planta y en elevación de los resultados de la simulación ENVI-met del día 22.12.2023 a las 14:00 y a las 21:00, comparando el caso original y las propuestas de integración de infraestructura azul.

Fig. 8: Imagen del modelo de Spaces de ENVI-met para la simulación de integración de infraestructura azul.

Por otra parte, se realizaron simulaciones para integración de infraestructura azul en ENVI-met. La hora en la que la disminución de temperatura del aire fue más notable fue la 14:00, la vista en planta muestra una diferencia máxima de 0.37°C, concentrado en el área sureste de la zona de estudio, mientras que en elevación se alcanza un máximo de 0.38°C. A diferencia de para el caso de la integración del infraestructura verde, que presenta una disminución constante de la temperatura para las infraestructuras azul es el efecto es estabilizador de la temperatura, en el día como se ve en el caso de las 14:00 se logra una disminución de la temperatura, mientras que a las 21:00 se muestra que en ciertos sectores produce una variación de temperatura positiva, es decir, se aumenta la temperatura, en vez de disminuirla, para este caso la diferencia máxima alcanza los 0.21°C en la vista en planta, concentrándose al centro de la zona de estudio, la zona libre de edificios, mientras que en la vista en elevación la máxima alcanza los 0.22°C.



Intervention strategies for urban climate control: Integration of nature based solutions in the historical- heritage neighborhood "el Almendral" of Valparaíso

Pamela Muñoz Ossandón^{1[0009-0000-3393-270X]} and Massimo Palme^{2[0000-0003-1166-2926]}

^{1&2} Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
pamela.munozo@usm.cl

Abstract. In the current context of global change, and particularly climate, one of the most predominant issues is the mitigation of climate change and its effects, to achieve the sustainable development goals at the global level, it is necessary to explore new fields for the implementation of interventions. There is immense potential for the reduction of CO₂ emissions and energy consumption in the implementation of energy efficiency improvements in historic buildings, it is urgent to think about the adaptation and recovery of the built environment with criteria that respond to environmental requirements, in addition to the traditional links of historical and heritage conservation.

This research studies a sector of the neighborhood "el Almendral" of Valparaíso, part of the historical conservation areas, considering the historic buildings and public space in this area. The intervention proposals consider the regulations and standards for the conservation of buildings and historic areas, proposing the integration of nature-based solutions for urban climate control and the recovery and enhancement of historic buildings. The proposals are analyzed using the ENVI-met software, subsequently the results are compared to identify the feasibility and benefits of each one, on the other hand, temperature changes at the urban level will be quantified and compared to identify the best proposal.

Keywords: Urban climate, Mitigation strategies, Nature based strategies, ENVI-met, Historic areas, Build Heritage.

1 Introduction

One of the most predominant problems today in the scenario of global change is precisely the mitigation of climate change and its effects, in response to this the United Nations (UN) has proposed a series of objectives for sustainable development with their respective guidelines, which must be met by 2030 [1]. Despite having been working for years on the implementation of various strategies worldwide to achieve these objectives, this goal is still far from being met, studies published during the 27th United Nations Climate Change Conference in 2022 (COP27) indicate that the construction industry is responsible for more than 34% of energy demand and 37% of CO₂ emissions corresponding to the year 2021 [2].

To achieve the sustainable development goals, it is essential to explore new areas for the implementation of various mitigation strategies in the face of climate change and its effects. The topic of sustainable development involves several sectors, and as established the construction sector and therefor architecture and heritage buildings play a key role in this [3]. In this context, an immense potential for the reduction of CO₂ emissions and energy consumption is recognized in the integration of mitigation strategies in heritage buildings [4]. It is urgent to think about the adaptation and recovery of the built environment with criteria that respond to current environmental requirements, in addition to the traditional links of historical and heritage conservation. An important clarification in dealing with the concept of sustainable development is to determine what is meant by "sustainable", because several definitions have been developed over the years. The World Commission on Environment and Development (WCED) published the report "Our Common Future" in 1987, where it defined sustainability as development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their needs [5]. With the passage of time this definition has been questioned due to its permissive approach with the substitution of a good or a resource, so contemporary authors have renamed this definition as weak sustainability [6], so a definition arises called "strong sustainability", which states that such substitution is not equivalent because values intrinsically associated with these resources are lost. This position has emerged mainly from groups of biologists and ecologists, who emphasize a more holistic valorization of natural resources.

2 Interventions in heritage buildings

Interventions in heritage buildings require an exhaustive evaluation of the current conditions of the building (conservation state, structural integrity, space available, etc.) to establish the restrictions and requirements to be able to make the desired modifications [7]. To preserve the integrity and values of heritage buildings and areas, national and local laws and regulations must be considered, in addition to international guidelines established by organizations such as the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) or the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

When proposing intervention strategies one of the main documents on the restoration and conservation of heritage is the Venice Charter adopted by ICOMOS, from which one of the fundamental principles when facing interventions in historic buildings emerges, which states that it must be possible to unequivocally differentiate the original work from the intervention, specifically, Article 12 of the Venice Charter states that "replacements of missing parts must integrate harmoniously with the whole, but at the same time must be distinguishable from the original so that restoration does not falsify the artistic or historic evidence" [8]. Although this is not the only principle that speaks of interventions in historic buildings, not even in the same document, this article shows the possibility of making changes without harming the integrity or authenticity of the architectural work. Other documents received by ICOMOS of special relevance to the intervention of heritage areas and buildings are those prepared in Quito in 1967 on the use of sites and monuments of artistic and historical value [9] and in Brazil in 1987 on the conservation of historic centers [10].

Although the study of a heritage building or site must be exhaustive there are different approaches to verify the feasibility and scope of different intervention proposals, Yüceer et al. propose a method for evaluating the compatibility of an addition to the existing historic building through an approach based on architectural analysis [11], which is broken down into site analysis, mass analysis (location, configuration, orientation, dimensions) and a façade analysis. On the other hand, in accordance with the Venice charter, any addition to the building must be clearly recognizable, but that in turn it must be integrated with the original construction, additionally they establish that said intervention must be reversible [11]. The interventions in the façade of the buildings are usually stricter because they can damage the integrity of the building, Akande et al. propose a possible solution for changes that require being connected to the outside of the building, to use the fifth façade, in other words, the roof of the building, as long as it is not seen at street level, thus achieving not to affect the image of the building [4].

While implementing changes in a historic building presents several challenges due to the safeguards that must be put in place for the preservation of its values, authenticity, and integrity, these are not incompatible with well-designed interventions that respect these qualities.

3 Case Study

The study area is representative of the city of Valparaíso, as is in a connective area between the hill and the plan, it is a historical area, and its urban space has an immense potential for development. This area is immersed in a sector of the neighborhood "el Almendral" of Valparaíso, belonging to the historic conservation zones ZCHAL-V and ZCHAL-B [12], going from Eusebio Lillo Street to 12 de Febrero Street and from Quillota Street to Pedro Montt Avenue, considering the historic buildings and public space on Argentina Avenue. At the same time, nine buildings and sites were chosen for its representativeness and interest to be intervened, within these are four buildings of historical conservation.



Fig. 1. Photogrammetry of the study area in the neighborhood “el Almendral”.

Chilean regulations define a "Historic Conservation Property" as the one individualized as such in a Territorial Planning Instrument given its architectural, historical or cultural value characteristics, which does not have a declaration of National Monument and a "Historic Conservation Zone" as an area or sector identified as such in a Territorial Planning Instrument, made up of one or more sets of properties of urban or cultural value whose association generates conditions that are to be preserved and that does not have a declaration of National Monument [13].

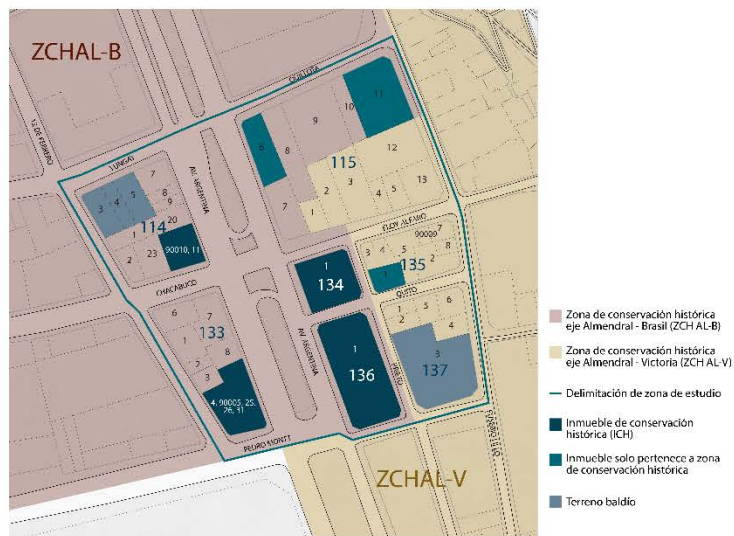


Fig. 2. Map of the study area in the neighborhood “el Almendral” showing the selected buildings and sites.

According to the climate classification of Köppen Valparaíso corresponds to a "Mediterranean oceanic" climate (Csb), this climate is characterized by temperate temperatures and low precipitation [14]. According to this classification the

temperature of the warmest month greater than or equal to 10 °C, and temperature of the coldest month less than 18 °C, but greater than -3 °C, the average precipitation in the driest month of summer is less than 30 mm and less than one third of the average of the wettest month of winter and the temperature of each of the four warmest months is 10 °C or more, but the warmest month less than 22 °C [15].

3 Methodology

This research proposes intervention strategies for urban climate control, by integrating nature-based solutions in historic buildings and public spaces in the study area. The research methodology has five stages: information gathering, data analysis, intervention proposal design, intervention evaluation and results analysis.

In order to study climatic situation of the city satellite images were used for the analysis and characterization of the study area. From the EarthExplorer tool [16] were obtained LANDSAT8 raster images, selecting the December 24 of 2022 images because it was the closest date to the summer solstice available covering the area. The LANDSAT8 raster images were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the land surface temperature (LST) for Valparaíso, using the next equations in the software QGIS [17]:

$$NDVI = \left(\frac{NIR - Red}{NIR + Red} \right) \quad (1)$$

The Eq. (1) describes the Normal Difference Vegetation Index (NDVI), where NIR represents the near-infrared band (Band 5), and Red represents the red band (Band 4). An image of the NDVI was obtained to recognize the concentration of vegetation across the city. Using the NDVI results among other variables the LST can be solved as shown in the Eq. (2).

$$T_s = \frac{BT}{1 + \lambda \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{BT}{\rho} \right) \cdot \ln(\epsilon_\lambda)} \quad (2)$$

After this analysis, information was collected in the field, taking photographs of the area to be able to recognize and record the state of conservation of the buildings and the materiality of facades, in addition a photogrammetric survey was carried out which helped to characterize the roofs as it was done with the facades, in addition to providing a 3D model of the area for more information.

The next step in the information gathering stage was the review of information available in different public databases, the main characteristics and information of the historical conservation buildings were found in the evaluation sheets of historical conservation property available in the urban heritage database of the Ministry of Housing and Urbanism [18], containing key insights like materials, heritage value, morphological data to name a few. The buildings that did not have evaluation sheets were consulted directly in the archive of the Municipal Construction Management using the identification numbers for each building obtained from the Internal Revenue

Service [19]. As for the materials of the building, four of these were obtained directly from the mentioned documents while others were deduced on site. The climate simulation software used, ENVI-met, in order to function needs detailed material characteristics, so to use the most accurate data possible for this the research of Valenzuela et al. [20] was consulted as it has a wide range of information of materials present in the historic area of Valparaiso. The information raised in this process was collected onto a database created in Excel, for a more systematic access to the information and its use in various stages of the research, the table 1-3 present a summary of the characteristics of the materials of the buildings.

Table 1. Material characteristics for roofs and walls in ENVI-met.

Roofs, Walls	Absorp.	Transmit.	Albedo	Emissiv.	Spec. Heat J/(K·g·K)	T. Conduct W/(m·K)	Density kg/m ³
Corrugated Grey Galvanized Steel	0,1	0	0,03	0,18	880	203	2700
Corrugated Red Galvanized Steel	0,1	0	0,9	0,18	880	203	2700
Corrugated Green Galvanized Steel	0,1	0	0,9	0,18	880	203	2700
Brick Masonry	0,68	0	0,3	0,9	921	0,814	1800
Concrete	0,6	0	0,3	0,94	750	1,7	2400

Table 2. Material characteristics for soils in ENVI-met.

Soils	Roughness m	Albedo	Emissivity
Asphalt Road	0.01	0.12	0.9
Pavement (used)	0.01	0.25	0.9
Loamy Soil	0.015	0	0.9

Table 3. Material characteristics for greenings in ENVI-met.

Greenings	Substrate Albedo	Substrate Emissivity	Air Chamber m	Vegetation Transmittance	Vegetation Albedo	Vegetation Height m	Root Depth m
Upholstery Sedum	0.25	0.52	0.01	0.3	0.4	0.15	0.11

For the study and analysis of the intervention proposals, a model was created using planimetry of the city developed in AutoCAD, adding a georeferenced to the drawing as is required for the simulation in ENVI-met later. The initial AutoCAD drawing was exported to continue its development in QGIS where the georeferenced drawings were linked to values from the database registered in Excel, specifically the identification number, height, and materials for each building. The georeferenced drawings linked to the database information was saved in a shape file ready to import to the climate simulation software ENVI-met, using the version 5.5 to the analysis. Inside ENVI-met, there are several sub programs for the different steps in the simulation process, the first

of these used was Monde, which works as an importing tool for the main software, after importing the shape file previously obtained the map configuration was established, using a map size of 350x350 meters, and the size of the grid cells in meters correspond to $dx=4$, $dy=4$, and $dz=3$. After transforming the imported data to the proper format used in ENVI-met, the work continues in the native edition software in ENVI-met called Spaces, it is here where the final steps of the model design were made, the type of soil present, the vegetation in the study area and later the integration of different vegetation according to the intervention proposals. In this stage of the investigation it was study the effects of the integration strategies based on nature, focusing on different additions of vegetation to the area of study, specifically four situations were modeled, the actual state of the study area, a second integrating vegetation in the form of palm trees as there are already presents in others areas of the city and have suitable characteristics for climate control, and grass on available soil, a third scenario adding green roofs on the selected buildings and a final scenario mixing both proposals. Moving on to the simulation tools section inside ENVI-met, the tool ENVI-guide is used to set the simulation configurations, which are date and climate information, the climate data for the simulation was obtained from “Climate.OneBuilding” [21], while the simulation date is set for the summer solstice starting at 9:00 AM for a period of 21 hours, as is expected to be a representative date for the hottest day[22].

7 Results and discussion

7.1 Analysis using satellite imagery

The NDVI image obtained (see Fig. 3) shows that the vegetation in the urban area of Valparaíso is almost non-existent in the city plan, furthermore the highest concentration occurs in the ravines where there is barely any human intervention or construction.

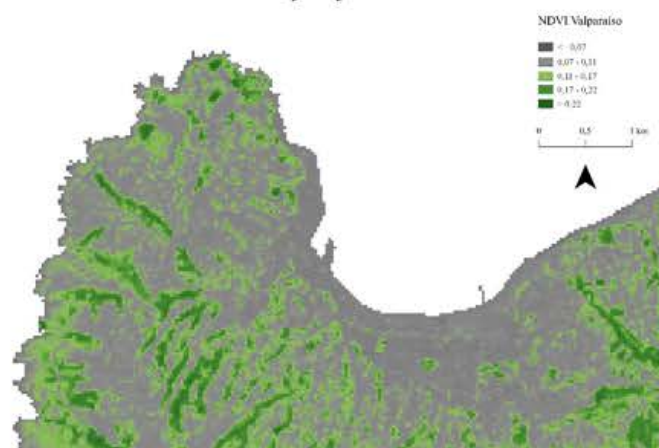


Fig. 3. NDVI image for the city of Valparaíso developed in QGIS from LANSAT8 images.

The LST image obtained (see Fig. 4), shows that the areas with the highest temperature intensity can be identified as the area of the city plan, while the coolest areas correspond to the ravines where there is a concentration of vegetation, showing a clear relation between the presence of vegetation and the temperature levels in the city.

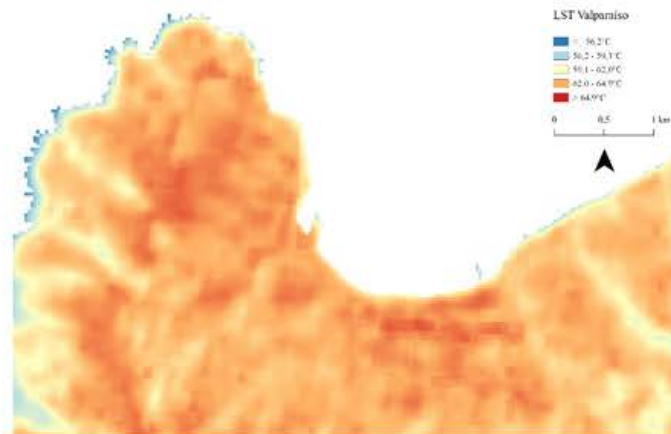


Fig. 4. LST image for the city of Valparaiso developed in QGIS from LANSAT8 images.

7.2 Climate simulations in ENVI-met

There is an inherent relationship between architecture and nature since its beginning [23], and it may be the key to unlocking the much needed solutions for the current problems facing the cities. The presence of vegetation in the urban context has been for a long time related with the mitigation of hot temperatures rises during the day and even the night. The cooling effects produced by trees is related to several factors, such as evapotranspiration, direct shadowing, air convection, reduced long wave radiation [24].

As previously established, there were four simulations conducted in ENVI-met, the original case, integration of green roofs, integration of vegetation and integration of green roofs plus vegetation each one of the proposals were compared to the original case to assess the margin improvement for each case. The hour in which the air temperature difference was most notable was the 01:00 AM, the plant view of the results (see Fig. 5), shows the difference in extension of the area of influence and the intensity of the variation in temperature obtained for each case, the green roof scenario (see Fig. 5a) reach a maximum variation in temperature of 0.40°C while the vegetation scenario (see Fig. 5b) only reach a maximum variation of 0.32°C , in addition to this the influence area of the green roof scenario is considerably larger than the vegetation scenario and affect different areas. The mix scenario (see Fig. 5c) on the other hand is the one with the biggest difference achieved having reach a maximum variation of 0.53°C and the influence area is more extensive since adds the areas of both proposals.

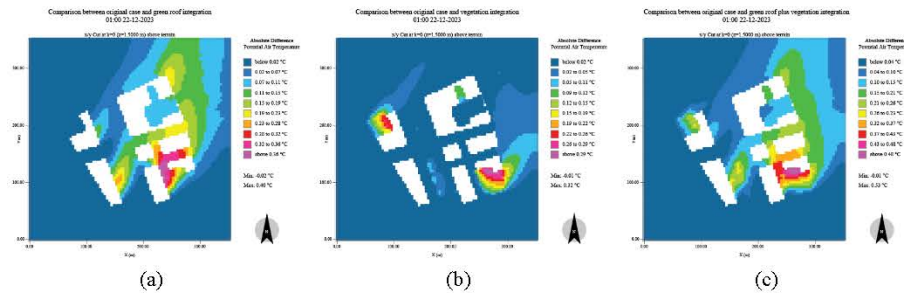


Fig. 5. Plant view of the ENVI-met simulation results for the 01:00 22.12.2023, comparing the original case and the proposals.

The elevations set of the results (see Fig. 6) shows the difference in the variation in temperature and the influence area relative to the altitude, for the green roof scenario (see Fig. 6a) the area of most variation intensity is concentrated at around 15 meters of height, while for the vegetation scenario (see Fig. 6b) the area of most variation intensity is concentrated at around 0 meters of height or in other words street level, for the mix scenario (see Fig. 6b) the area of most variation intensity is also concentrated at around 15 meters of height, but slightly more extensive than the green roof scenario.

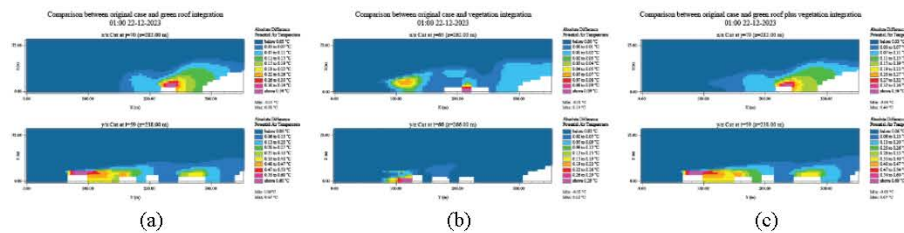


Fig. 6. Elevation view of the ENVI-met simulation results for the 01:00 22.12.2023, comparing the original case and the proposals.

Although none of the proposals showed a great margin of improvement compared to the original case, it is speculated that it may be due to the small size of the study area and nonetheless the improvement is a step in the right direction in the design of intervention strategies in historic building for the development of more sustainable cities.

8 Conclusions

The variations in air temperature obtained in each simulation of the intervention proposals were quite low, however, the variations in temperature have considerable differences in the extent of their impact, either in plan (XY) or in elevation (XZ or YZ). Even though the maximum temperature variation achieved does not vary much from one proposal to another, the extent of these variations grows notably when combining the intervention proposals.

It is essential to approach the changes in a comprehensive way, studying and iterating the different proposals to obtain the optimal combination for a given case. To be more precise in the search for the ideal combination in future research, economic variable must be incorporated to determine the feasibility and profitability of the proposals.

When designing intervention proposals based on nature in heritage buildings and areas, a comprehensive study of their values and attributes must be conducted, to respect them. Although the integration of nature-based solutions in historic buildings entails an important level of technical complexity [25] and requires a conscious and careful treatment of the elements that give value to them, it is not impossible to achieve it, nor should it be avoided. On the contrary, the transformation of buildings and neighborhoods has become necessary not only to achieve the goals of sustainable development, but also to rescue identities at the neighborhood and even city scale, and even more so to value urban and built heritage.

9 Acknowledgements

This work was supported by the FONDECYT project number 1200275 "Urban climate and built environment" awarded by ANID.

References

1. United Nations. (2015). The Sustainable Development Agenda. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
2. Fusha, A. (2022). Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de descarbonización. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2022/11/1516722>
3. Fabbri, K. (2013). Energy incidence of historic building: Leaving no stone unturned. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3 SUPPL). <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.010>
4. Akande, O. K., Odeleye, D., & Coday, A. (2014). Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(2), 237–250. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250>
5. Thomsen, C. (2013). Sustainability (World Commission on Environment and Development Definition). In *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility* (pp. 2358–2363). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8_531
6. Gómez Rodríguez, D. T. (2021). Sostenibilidad. Apuntes sobre sostenibilidad fuerte y débil, capital manufacturado y natural. *Inclusión & Desarrollo*, 8(1), 131–143.
7. Santi, G., & Battini, S. (2019). Green roofs to improve the energy renovation resilience of historic buildings. *Interdependence between Structural Engineering and Construction Management*.
8. Asamblea General de ICOMOS. (1964). Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (carta de Venecia 1964). 2nd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964
9. ICOMOS. (1967). The Norms of Quito-1967 Final Report of the Meeting on the Preservation and Utilization of Monuments and Sites of Artistic and historical Value held in

- Quito, Ecuador, from November 29 to. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/168-the-norms-of-quito>
10. ICOMOS Brazilian Committee. (1987). First Brazilian Seminar about the Preservation and Revitalization of Historic Centers; Itaipava - 1987. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/194-first-brazilian-seminar-about-the-preservation-and-revitalization-of-historic-centers-itaipava>
 11. Yüceer, H., & Ipekoğlu, B. (2012). An architectural assessment method for new exterior additions to historic buildings. *Journal of Cultural Heritage*, Volúmen 13(Número 4), 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.12.002>
 12. Ilustre Municipalidad de Valparaíso (2005). Ordenanza local plan regulador Valparaíso refundida.
 13. CMN (Consejo de Monumentos Nacionales). (2019). Ley No 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas (S. Pérez Lizana, Ed.; 7° Edición). Consejo de Monumentos Nacionales.
 14. Sarricolea P, Herrera, M., & Meseguer-Ruiz, O. (2017). Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66–73.
 15. Arnfield, A. J. (2023, May 16). Köppen climate classification. <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>.
 16. USGS (U.S. Geological Survey). (2022). EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
 17. Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
 18. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2005, July). Inmuebles y Zonas de Conservación Histórica de la Región de Valparaíso. <https://www.patrimoniourbano.cl/inmuebles-y-zonas-patrimoniales/region-de-valparaiso/>.
 19. Servicio de Impuestos Internos. (2022). Cartografía Digital SII Mapas. <https://www4.sii.cl/Mapasui/Internet/#/Contenido/Index.html>.
 20. Valenzuela Cabezas, J. A. (2021). Influencia de la implementación de cubiertas verdes en la ciudad de Valparaíso Facultad de Ingeniería Escuela de Construcción Civil. Universidad de Valparaíso.
 21. Climate.OneBuilding. (2018). WMO Region 3 - South America - Chile. https://climate.onebuilding.org/WMO_Regions/3_South_America/CHL_Chile/Index.html.
 22. Shabahang, S., Vale, B., & Gjerde, M. (2021). A Simulation Method for Studying Urban Heat Islands at the Urban Scale. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 203, 115–126. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8783-2_9
 23. Pinheiro, A. P. (2020). Architectural Rehabilitation and Sustainability of Green Buildings in Historic Preservation. *HighTech and Innovation Journal*, 1(4), 172–178. <https://doi.org/10.28991/HIJ-2020-01-04-04>
 24. Palme, M., Carrasco, C., Privitera, R., & La Rosa, D. (2022). Building Performance Simulation to support tree planting for cooling need reduction: a machine learning approach. *Proceedings of Building Simulation 2021: 17th Conference of IBPSA*, 17. <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30196>
 25. Cappello, C., Giuffrida, S., Trovato, M. R., & Ventura, V. (2022). Environmental Identities and the Sustainable City. The Green Roof Prospect for the Ecological Transition. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912005>

Estrategias de intervención para el control del clima urbano

Integración de soluciones basadas en la naturaleza en el barrio histórico-patrimonial "el Almendral" de Valparaíso

P. Muñoz Ossandón *, M. Palme *

*Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Federico Santa María

* pamea.munoz@usm.cl

En el contexto actual de cambio global, y particularmente climático, uno de los temas más predominantes es la mitigación del cambio climático y sus efectos, en orden de lograr los objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial, es necesario explorar nuevos campos para la implementación de intervenciones. Existe un gran potencial para la disminución de emisiones CO₂ y de consumo energético en la implementación de mejoras de eficiencia energética en edificios históricos, es urgente pensar en la adaptación y la recuperación del ambiente construido con criterios que respondan a exigencias ambientales, además de los tradicionales vínculos de conservación histórica y patrimonial.

La metodología de investigación cuenta de cinco etapas: levantamiento de información, análisis de datos, diseño de propuesta de intervención, evaluación de intervención y análisis de resultados.

Las propuestas de intervención a estudiar consideran la normativa y estándares para la conservación de edificios y zonas históricas, planteando la integración soluciones basadas en la naturaleza para el control del clima urbano y la recuperación y puesta en valor de edificios históricos, dentro de las propuestas se explorará la integración de vegetación, integración de agua, modificación la reflectividad de las superficies entre otras.

Contextualización zona de estudio



Fig. 1: Fotografía de la zona de estudio levantada mediante el uso de dron.



Fig. 2: Edificios y sitios seleccionados dentro del área de estudio para integrar propuestas de intervención.

La zona de estudio es seleccionada debido a ser representativa de la ciudad y su pertinencia a los parámetros de estudio, se encuentra en una zona de encuentro entre el cerro y el plan, es una zona histórica y cuenta a su espacio urbano tiene un gran potencial de desarrollo. Esta zona aborda un sector del barrio "el Almendral" de Valparaíso, pertenecientes a las zonas de conservación histórica ZCHAL-V y ZCHAL-B, considerando desde la calle Eusebio Lillo hasta la calle 12 de Febrero y desde la calle Quillota hasta Pedro Montt, considerando los edificios históricos y el espacio público en avenida Argentina.

Dentro de las herramientas utilizadas para levantar información de los edificios a intervenir y su contexto urbano se realizó un levantamiento fotográfico de las fachadas de los edificios y un levantamiento fotogramétrico mediante dron del área, los cuales en conjunto con información obtenida de los archivos municipales permitieron obtener información sobre la materialidad de los edificios y sector urbano, para luego levantar modelos digitales para simulación ambiental.

Análisis mediante imágenes satelitales

Se utilizó imágenes satelitales para el análisis y caracterización de la zona de estudio. Se utilizan imágenes ráster de LANDSAT8, obtenidas a través de la herramienta EarthExplorer,

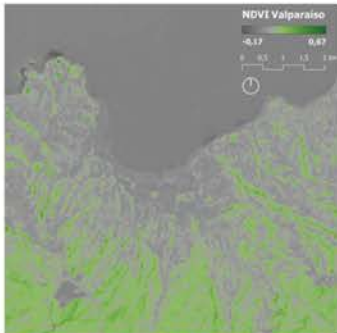


Fig. 3: Imagen del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para la zona de Valparaíso.



Fig. 4: Detalle de vegetación existentes en las cercanías de la zona de estudio.

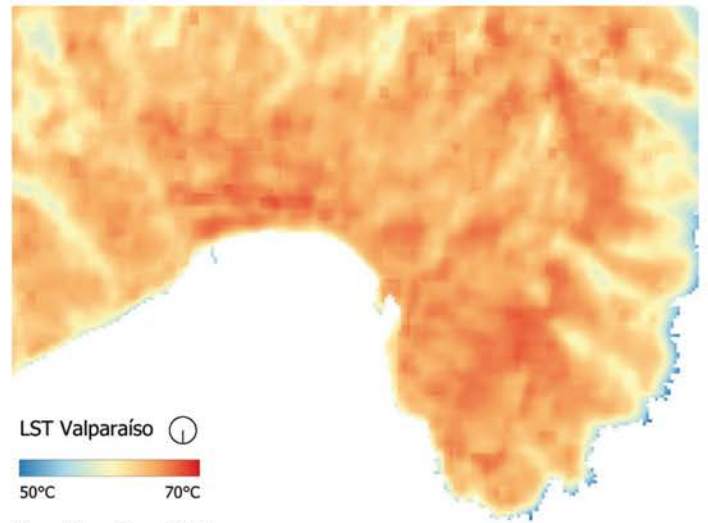


Fig. 5: Temperatura superficial terrestre (LST) para Valparaíso.

eligiendo el día 24 de Diciembre de 2022 debido a que era la fecha más cercana al solsticio de verano disponible. A partir de estas imágenes se obtiene el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para el área de Valparaíso, adicionalmente se elabora una imagen que muestra el detalle de la vegetación presente en el área, la cual es levantada a partir de una imagen obtenida en Google Earth.

A partir de las imágenes ráster de LANDSAT8 se realiza el cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST) para la zona de Valparaíso, donde se evidencia la concentración de altas temperaturas en la zona del plan de la ciudad.

Simulación ambiental en ENVI-met

Para el estudio y análisis de las propuestas de intervención se levanta un modelo utilizando planimetría de la ciudad desarrollada en AutoCAD, la cual es unida en QGIS a la base de datos registrada en Excel, cual cuenta con valores de altura, materialidad, identificación para cada edificio, entre otros datos. Finalmente, el archivo obtenido después de este proceso es trabajando en las distintas instancias de ENVI-met para realizar las simulaciones de las distintas propuestas de intervención a estudiar en esta investigación. Los primeros resultados obtenidos corresponden a una evaluación de la temperatura superficial en distintos horarios durante el solsticio de verano para el caso original, es decir, sin la integración de intervenciones aún. El siguiente paso es la iteración de distintas propuestas de intervención para su comparación.

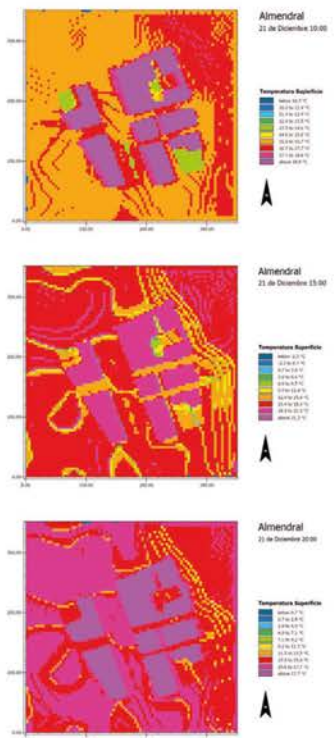


Fig. 6: Simulación de temperatura superficial durante distintas horas del 21 de Diciembre de 2022.



AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)

K. D. Goepel Version 15.09.2018 Free web based AHP software on: <http://bpmmsg.com>

Only input data in the light green fields and worksheets!

n= Number of criteria (2 to 10) Scale: AHP 1-9
 N= Number of Participants (1 to 20) α: Consensus:
 p= selected Participant (0=consol.) 2 7 Consolidated

Objective Aplicación del análisis multicriterio basado en SIG. Para proceso de jerarquía (AHP) en el análisis de estrategias de intervención para el control del fenómeno de la Isla de Calor Urbano (ICU) en zonas de conservación históricas en el barrio "El Almendral" de Valparaíso.

Author

Date

Thresh:

Iterations: 5

EVM check: 4,7E-09

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	Temperatura del aire	Máxima diferencia en la potencial temperatura del aire alcanzada, respecto al caso original.	14,9%	6,0%
2	Rango de efecto	Rango del area afectada en la disminución de la temperatura del aire.	16,5%	1,2%
3	Temperatura superficial	Máxima diferencia en la temperatura superficial alcanzada, respecto al caso original.	4,6%	1,1%
4	PMV	Mejora en el indice PMV respecto al caso original.	28,5%	9,7%
5	Espacio público	Desarrollo y mejoras del espacio público.	26,7%	8,5%
6	Inversión inicial	Valor para la implementación de la propuesta de intervención.	6,0%	2,4%
7	Costos	Valor para el mantenimiento de la propuesta de intervención.	2,7%	0,9%
8			0,0%	0,0%
9			0,0%	0,0%
#			0,0%	0,0%

Result	Eigenvalue	Lambda: 7,299	MRE: 31,9%
	Consistency Ratio	0,37 GCI: 0,14 Psi: 3,8% CR: 3,7%	

Matrix	Temperatura del aire	Rango de efecto	Temperatura superficial	PMV	Espacio público	Inversión inicial	Costos	0	0	0	normalized principal Eigenvector
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Temperatura del aire	1	4/5	5 1/8	2/7	1/3	4	6	-	-	-	14,94%
Rango de efecto	1 1/4	1	3 7/9	5/9	3/5	3	6 4/5	-	-	-	16,47%
Temperatura superficial	1/5	1/4	1	1/6	1/4	1	1 5/7	-	-	-	4,62%
PMV	3 3/7	1 4/5	6	1	1	4 2/9	6 4/5	-	-	-	28,53%
Espacio público	3	1 5/7	4 1/8	1	1	5	6 1/2	-	-	-	26,73%
Inversión inicial	1/4	1/3	1	1/4	1/5	1	4 1/6	-	-	-	5,97%
Costos	1/6	1/7	3/5	1/7	1/7	1/4	1	-	-	-	2,75%
0	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,00%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0,00%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,00%

AHP Analytic Hierarchy Process

n= 7

Input 1

Objective: Aplicación del análisis multicriterio basado en SIG. Para proceso de jerarquía (AHP) en el análisis de estrategias de intervención para el control del fenómeno de la Isla de Calor Urbano (ICU) en zonas de conservación históricas en el barrio "El Almendral" de Valparaíso.

Only input data in the light green fields!

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, **A or B**, and **how much** more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve consistency.

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	Temperatura del aire	Máxima diferencia en la potencial temperatura del aire alcanzada, respecto al caso original.	13,9%	6,2%
2	Rango de efecto	Rango del area afectada en la disminución de la temperatura del aire.	16,2%	6,4%
3	Temperatura superficial	Máxima diferencia en la temperatura superficial alcanzada, respecto al caso original.	2,0%	0,8%
4	PMV	Mejora en el índice PMV respecto al caso original.	29,2%	13,2%
5	Espacio público	Desarrollo y mejoras del espacio público.	27,5%	9,6%
6	Inversión inicial	Valor para la implementación de la propuesta de intervención.	7,9%	3,3%
7	Costos	Valor para el mantenimiento de la propuesta de intervención.	3,3%	1,0%
8				
9				
10				

Name: Weight: Date:

α : CR:

1

Consistency Ratio

		Criteria		more important ?	Scale	
i	j	A	B	A or B	(1-9)	
1	2	Temperatura del aire	Rango de efecto	B	1	
1	3		Temperatura superficial	A	9	
1	4		PMV	B	5	
1	5		Espacio público	B	3	
1	6		Inversión inicial	A	3	
1	7		Costos	A	5	
1	8					
2	3		Rango de efecto	Temperatura superficial	A	9
2	4	PMV		A	1	
2	5	Espacio público		B	2	
2	6	Inversión inicial		B	1	
2	7	Costos		A	7	
2	8					
3	4	Temperatura superficial	PMV	B	9	
3	5		Espacio público	B	7	
3	6		Inversión inicial	B	5	
3	7		Costos	B	3	
3	8					
4	5	PMV	Espacio público	A	1	
4	6		Inversión inicial	A	5	
4	7		Costos	A	7	
4	8					
5	6	Espacio público	Inversión inicial	A	5	
5	7		Costos	A	7	
5	8					
6	7	Inversión inicial	Costos	A	3	
6	8					
7	8					

A
B

FICHA DE EVALUACION INMUEBLE DE CONSERVACION HISTORICA

ROL
0114-011

1. IDENTIFICACION

REGION	COMUNA	CALLE	NUMERO
Valparaiso	Valparaiso	Avenida Argentina	264-288
ID PLANO	DENOMINACION		AUTOR
37	Inmueble Av. Argentina 264-288		Se desconoce.

2. PLANO DE UBICACION



3. FOTO DEL EDIFICIO



4. RESEÑA VALORES Y ATRIBUTOS PATRIMONIALES

4.1. VALOR URBANISTICO

Edificio esquina inscrito en una manzana compacta de fachada continua en el entorno de Av. Argentina, en intersección con Calle Chacabuco. Destaca por su volumetría aportando significativamente a la estructura e imagen urbana de dicho entorno.

4.2. VALOR ARQUITECTONICO

Es un referente de la tipología de edificio residencial con uso comercial en planta baja, inscrito dentro del estilo neoclásico francés, muy utilizado hacia fines del siglo XIX y comienzos del XX en Chile. Es un elemento de gran calidad estética y arquitectónica.

4.3. VALOR HISTORICO

Está publicado en revistas y/o seminarios.

4.4. VALOR ECONOMICO

Está en muy buen estado de conservación y no necesita recuperación.

4.5. VALOR SOCIAL

No es mencionado en sondeo de opinión.

5. EVALUACION

VALOR	ATRIBUTOS			COEF	PUNTOS
	A	B	C		
URBANO	2.00	1.00	2.00	1.50	7.50
ARQUITECTONICO	2.00	1.00	2.00	1.00	5.00
HISTORICO	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ECONOMICO	2.00	1.00		0.75	2.25
SOCIAL	0.00			0.75	0.00
VALOR TOTAL					15.75

GRADO

1

CALIFICACION

INSERTO EN ZCH

SI	X	NO	
----	----------	----	--

IDENTIFICACION ZCH

ZCH-B1

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y FUENTES

Inventario del Patrimonio Cultural Inmueble, V Región (MOP)

7. INFORMACIÓN TÉCNICA

7.1. DESTINO (*)		
	ORIGINAL	ACTUAL
SS	VIVIENDA	BODEGA
PP	VIVIENDA	COMERCIO
PS	VIVIENDA	COMERCIO

7.2. AÑO DE CONSTRUCCIÓN									
ANT	1840	1860	1880	1900	1920	1940	1960	1980	POST
1839	1859	1879	1899	1919	1939	1959	1979	1999	
				X					

7.3. CALIDAD JURIDICA			
PUBLICO		PRIVADO	X
Banco Nacional			

7.4. TENENCIA				
REGIMEN			FORMA	
PROPIEDAD INDIVIDUAL			PROPIETARIO	
PROPIEDAD COLECTIVA			ARRENDATARIO X	
			OTROS	

7.5. AFECTACION LEGAL ACTUAL				
MONUMENTO HIST.		SITIO HISTÓRICO		DECLAR. UTIL. PÚB.
ZONA TÍPICA		SANTUARIO NATURAL.		ZONA CONS.HIST.

7.6. OBSERVACIONES
-


(*) SS=Subsuelo; PP= Primer Piso; PS=Pisos Superiores

8. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

8.1. TIPOLOGÍA EDIFICIO		8.2. AGRUPAMIENTO		8.3. TIPO CUBIERTA	
MANZANA		AI SLADA		HORIZONTAL	
ESQUINA	X	PAREADA	X	INCLINADA	X
ENTRE MEDIANERO		CONTINUA		CURVA	

8.4. SUPERFICIE		8.5. ALTURA		8.6. ANTEJARDÍN	
TERRENO	EDIFICADA	NRO. PISOS	METROS	METROS	
526 M2	2730 M2	4	Mt	0 Mt	

8.7. MATERIALIDAD			
ESTRUCTURA	TECHUMBRE	FACHADA	OTROS
Madera	Acero galvanizado	Estuco	Madera y yeso

8.8. ELEMENTOS SIGNIFICATIVOS					FOTO DETALLE
ESTILO	ESTRUCT.	FACHADA	VEGETAC.	ELEM. PUNT.	
X		X		X	
DESCRIPCIÓN					
Destaca la composición modular de vanos en fachadas y el tercer nivel tipo mansarda y la ornamentación elaborada de los enmarcamientos de vanos a partir del segundo piso.					

8.9. ESTADO DE CONSERVACIÓN			8.10. GRADO DE ALTERACIÓN		8.11. APTITUD PARA REHABILITACIÓN	
ELEMENTO	ENTORNO		SIN MODIFICACIÓN			
BUENO	BUENO		POCO MODIFICADO		X	
REGULAR	X	REGULAR	MUY MODIFICADO			
MALO	MALO		OTRO			

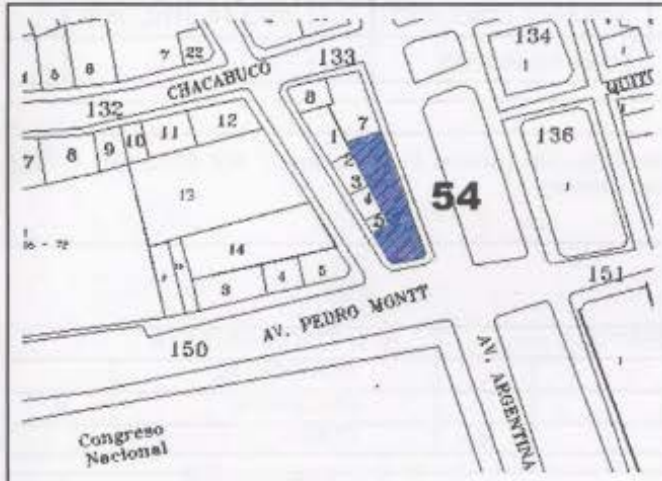
8.12. RELACIÓN DE ELEMENTO CON SU ENTORNO					
IMAGEN URBANA RELEVANTE POR		FORMA PARTE DE UN CONJUNTO		PRESENCIA DE ELEM. PATRIMONIALES	
UBICACIÓN		X	SI	MONUMENTO HISTÓRICO	
SINGULARIDAD			NO	X	ESPACIO PÚBLICO RELEVANTE X

8.13. OBSERVACIONES
ha sufrido grandes modificaciones a nivel de calla, adaptado a usos comerciales

FICHA DE EVALUACION INMUEBLE DE CONSERVACIÓN HISTÓRICA	ROL
	0133-008, 010, 011 y 026

1. IDENTIFICACIÓN

REGIÓN	COMUNA	CALLE	NUMERO
Valparaíso	Valparaíso	Avenida Argentina / Avenida Pedro Montt	334-344; 384;
ID PLANO	DENOMINACIÓN	AUTOR	
54	Inmuebles Av. Argentina / Av. P.Montt	Se desconoce.	

2. PLANO DE UBICACIÓN**3. FOTO DEL EDIFICIO****4. RESEÑA VALORES Y ATRIBUTOS PATRIMONIALES****4.1. VALOR URBANÍSTICO**

Forma parte del entorno de la Av. Argentina, conformando un extenso frente hacia dicho espacio público y la esquina con Av. Pedro Montt, aportando significativamente a la estructura e imagen urbana del sector.

4.2. VALOR ARQUITECTÓNICO

Característico de la tipología de edificación continua con uso comercial en nivel de calle, es singular por su estilo art-decó expresado en sus fachadas, que le otorgan gran calidad estética y arquitectónica.

4.3. VALOR HISTÓRICO

Está publicado en revistas y/o seminarios.

4.4. VALOR ECONÓMICO

Su recuperación es económica y socialmente rentable.

4.5. VALOR SOCIAL

No es mencionado en sondeo de opinión.

5. EVALUACIÓN

VALOR	ATRIBUTOS			COEF	PUNTOS
	A	B	C		
URBANO	2.00	1.00	2.00	1.50	7.50
ARQUITECTONICO	1.00	2.00	2.00	1.00	5.00
HISTORICO	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ECONOMICO	1.00	1.00		0.75	1.50
SOCIAL	0.00			0.75	0.00
VALOR TOTAL					15.00

GRADO

12

CALIFICACIÓN

INSERTO EN ZCH

SI NO

IDENTIFICACIÓN ZCH

ZCH-B1**6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES**

Inventario del Patrimonio Cultural Inmueble, V Región (MOP)

7. INFORMACIÓN TÉCNICA

7.1. DESTINO (*)			7.2. AÑO DE CONSTRUCCIÓN								
	ORIGINAL	ACTUAL	ANT 1839	1840 1859	1860 1879	1880 1899	1900 1919	1920 1939	1940 1959	1960 1989	POST 1990
SS	-	-									
PP	VIVIENDA	COMERCIO									
PS	VIVIENDA	VIVIENDA						X			

7.3. CALIDAD JURIDICA				7.4. TENENCIA			
PUBLICO		PRIVADO	X	REGIMEN		FORMA	
Varios propietarios				PROPIEDAD INDIVIDUAL		PROPIETARIO	
PROPIEDAD COLECTIVA		COPROPIEDAD COMUNIDAD		X		ARRENDATARIO X	
						OTROS	

7.5. AFECTACIÓN LEGAL ACTUAL			
MONUMENTO HIST.		SITIO HISTÓRICO	
ZONA TÍPICA		SANTUARIO NATURAL.	
		INMUEBLE CONS.HIST.	
		ZONA CONS.HIST.	
		DECLAR. UTIL. PÚB.	

7.6. OBSERVACIONES
Conjunto de 4 inmuebles de diferente rol y propietario: Rol 0133-008 (Areces F. Celestino) / Rol 0133-010 y 011 (Hormazabal H. Griselda) / Rol 0133-026 (Barberis Volta Juan y otros).

(*) SS=Subsuelo; PP= Primer Piso; PS=Pisos Superiores

8. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

8.1. TIPOLOGÍA EDIFICIO		8.2. AGRUPAMIENTO		8.3. TIPO CUBIERTA	
MANZANA		AISLADA		HORIZONTAL	
ESQUINA	X	PAREADA		INCLINADA	X
ENTRE MEDIANERO		CONTINUA	X	CURVA	

8.4. SUPERFICIE		8.5. ALTURA		8.6. ANTEJARDÍN	
TERRENO	EDIFICADA	NRO. PISOS	METROS	METROS	
S/I M2	113-136 M2	3	Mt	0 Mt	

8.7. MATERIALIDAD			
ESTRUCTURA	TECHUMBRE	FACHADA	OTROS
Albañilería	Acero galvanizado	Estuco	

8.8. ELEMENTOS SIGNIFICATIVOS					FOTO DETALLE
ESTILO	ESTRUCT.	FACHADA	VEGETAC.	ELEM. PUNT.	
X		X		X	
DESCRIPCIÓN					
Destacan los elementos ornamentales de estilo art decó que componen las fachadas.					

8.9. ESTADO DE CONSERVACIÓN		8.10. GRADO DE ALTERACIÓN		8.11. APTITUD PARA REHABILITACIÓN	
ELEMENTO	ENTORNO	SIN MODIFICACIÓN	X		
BUENO	BUENO	POCO MODIFICADO		VIVIENDA	
REGULAR	REGULAR	MUY MODIFICADO		EQUIPAMIENTO	
MALO	MALO	OTRO		OTRO	

8.12. RELACIÓN DE ELEMENTO CON SU ENTORNO				
IMAGEN URBANA RELEVANTE POR	FORMA PARTE DE UN CONJUNTO	PRESENCIA DE ELEM. PATRIMONIALES		
UBICACIÓN	SI	X	MONUMENTO HISTÓRICO	
SINGULARIDAD	NO		ESPACIO PÚBLICO RELEVANTE X	

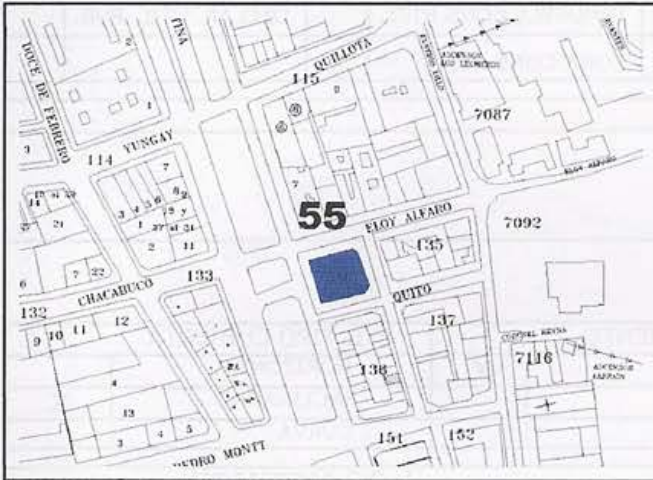
8.13. OBSERVACIONES
-

FICHA DE EVALUACION INMUEBLE DE CONSERVACIÓN HISTÓRICA	ROL
	0134-001

1. IDENTIFICACIÓN

REGION	COMUNA	CALLE	NUMERO
Valparaíso	Valparaíso	Avenida Argentina	301 - 331
ID PLANO	DENOMINACIÓN	AUTOR	
55	Inmueble Av. Argentina 301-331	Se desconoce.	

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. FOTO DEL EDIFICIO



4. RESEÑA VALORES Y ATRIBUTOS PATRIMONIALES

4.1. VALOR URBANÍSTICO

Edificio manzana que forma parte del entorno de Av. Argentina, de volumetría maciza y compacta, es un elemento que aporta significativamente a la estructura e imagen urbana de dicho entorno.

4.2. VALOR ARQUITECTÓNICO

Representativo de la arquitectura historicista de principios del siglo XX, se destaca dentro del contexto en que se emplaza por su tipología de manzana cerrada de volumetría robusta y su de gran calidad estética y arquitectónica.

4.3. VALOR HISTÓRICO

Está publicado en revistas y/o seminarios.

4.4. VALOR ECONÓMICO

Está en muy buen estado de conservación y no necesita recuperación.

4.5. VALOR SOCIAL

No es mencionado en sondeo de opinión.

5. EVALUACIÓN

VALOR	ATRIBUTOS			COEF	PUNTOS
	A	B	C		
URBANO	2.00	1.00	2.00	1.50	7.50
ARQUITECTÓNICO	1.00	2.00	2.00	1.00	5.00
HISTÓRICO	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ECONÓMICO	2.00	1.00		0.75	2.25
SOCIAL	0.00			0.75	0.00
VALOR TOTAL					15.75

GRADO
12

CALIFICACIÓN			
INSERTO EN ZCH			
SI	X	NO	
IDENTIFICACION ZCH			
ZCH-B1			

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES

Inventario del Patrimonio Cultural Inmueble, V Región (MOP)

7. INFORMACIÓN TÉCNICA

7.1. DESTINO (*)		
	ORIGINAL	ACTUAL
SS	VIVIENDA	BODEGA
PP	VIVIENDA	COMERCIO
PS	VIVIENDA	VIVIENDA

7.2. AÑO DE CONSTRUCCIÓN									
ANT	1840	1860	1880	1900	1920	1940	1960	POST	
1839	1859	1879	1899	1919	1939	1959	1989	1990	
				X					

7.3. CALIDAD JURIDICA			
PUBLICO		PRIVADO	X
Christie Cicirello Francisco			

7.4. TENENCIA			
REGIMEN		FORMA	
PROPIEDAD INDIVIDUAL		PROPIETARIO	
PROPIEDAD COLECTIVA	COPROPIEDAD	X	ARRENDATARIO
	COMUNIDAD		OTROS
			X

7.5. AFECTACION LEGAL ACTUAL			
MONUMENTO HIST.		SITIO HISTÓRICO	
ZONA TÍPICA		SANTUARIO NATURAL.	
		INMUEBLE CONS.HIST.	
		ZONA CONS.HIST.	
		DECLAR. UTIL. PÚB.	

7.6. OBSERVACIONES


(*) SS=Subsuelo; PP= Primer Piso; PS=Pisos Superiores

8. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

8.1. TIPOLOGÍA EDIFICIO		8.2. AGRUPAMIENTO		8.3. TIPO CUBIERTA	
MANZANA	X	AISLADA	X	HORIZONTAL	
ESQUINA		PAREADA		INCLINADA	X
ENTRE MEDIANERO		CONTINUA		CURVA	

8.4. SUPERFICIE		8.5. ALTURA		8.6. ANTEJARDÍN	
TERRENO	EDIFICADA	NRO. PISOS	METROS	METROS	
1066 M2	2700 M2	3	Mt	0 Mt	

8.7. MATERIALIDAD			
ESTRUCTURA	TECHUMBRE	FACHADA	OTROS
Albañilería	Acero galvanizado	Ladrillo	

8.8. ELEMENTOS SIGNIFICATIVOS					FOTO DETALLE
ESTILO	ESTRUCT.	FACHADA	VEGETAC.	ELEM. PUNT.	
		X			
DESCRIPCIÓN					
<p>Volumetría robusta y sobria composición de fachadas, con ladrillo a la vista y elementos que aluden al estilo neoclásico, tales como el cornisamiento superior con entablamento, pilstras y balcón de balaustres en ochavo de esquinas.</p>					

8.9. ESTADO DE CONSERVACIÓN			8.10. GRADO DE ALTERACIÓN		8.11. APTITUD PARA REHABILITACIÓN	
ELEMENTO	ENTORNO		SIN MODIFICACIÓN	X		
BUENO		BUENO	POCO MODIFICADO		VIVIENDA	
REGULAR	X	REGULAR	MUY MODIFICADO		EQUIPAMIENTO	
MALO		MALO	OTRO		OTRO	

8.12. RELACIÓN DE ELEMENTO CON SU ENTORNO					
IMAGEN URBANA RELEVANTE POR		FORMA PARTE DE UN CONJUNTO		PRESENCIA DE ELEM. PATRIMONIALES	
UBICACIÓN	X	SI	X	MONUMENTO HISTÓRICO	X
SINGULARIDAD		NO		ESPACIO PÚBLICO RELEVANTE	

8.13. OBSERVACIONES

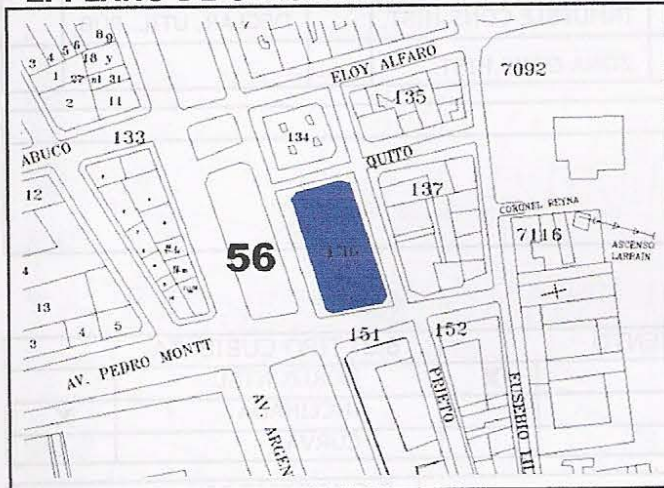
FICHA DE EVALUACION INMUEBLE DE CONSERVACIÓN HISTÓRICA

ROL
0136-001

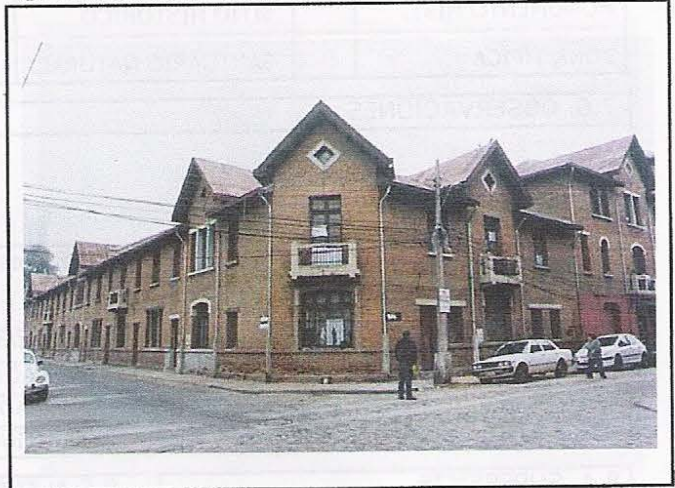
1. IDENTIFICACIÓN

REGION	COMUNA	CALLE	NUMERO
Valparaíso	Valparaíso	Avenida Argentina	339 - 399
ID PLANO	DENOMINACION		AUTOR
56	Inmueble Av. Argentina 339-399		Se desconoce.

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. FOTO DEL EDIFICIO



4. RESEÑA VALORES Y ATRIBUTOS PATRIMONIALES

4.1. VALOR URBANÍSTICO

Edificio manzana que forma parte del entorno de Av. Argentina, conforma un extenso frente y la esquina con Av. Pedro Montt, aportando significativamente a la estructura e imagen urbana de dicho entorno.

4.2. VALOR ARQUITECTÓNICO

Representativo de la arquitectura historicista de principios del siglo XX, se destaca dentro del contexto en que se emplaza por la extensión y singular expresión de sus fachadas, que denotan gran calidad estética y arquitectónica.

4.3. VALOR HISTÓRICO

Está publicado en revistas y/o seminarios.

4.4. VALOR ECONÓMICO

Está en muy buen estado de conservación y no necesita recuperación.

4.5. VALOR SOCIAL

No es mencionado en sondeo de opinión.

5. EVALUACIÓN

VALOR	ATRIBUTOS			COEF	PUNTOS
	A	B	C		
URBANO	2.00	1.00	2.00	1.50	7.50
ARQUITECTÓNICO	1.00	2.00	2.00	1.00	5.00
HISTÓRICO	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ECONÓMICO	2.00	1.00		0.75	2.25
SOCIAL	0.00			0.75	0.00
VALOR TOTAL					15.75

GRADO
12

CALIFICACIÓN			
INSERTO EN ZCH			
SI	X	NO	
IDENTIFICACIÓN ZCH			
ZCH-B1			

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES

Inventario del Patrimonio Cultural Inmueble, V Región (MOP)

7. INFORMACIÓN TÉCNICA

7.1. DESTINO (*)	
ORIGINAL	ACTUAL
SS -	-
PP VIVIENDA	COMERCIO
PS VIVIENDA	VIVIENDA

7.2. AÑO DE CONSTRUCCIÓN									
ANT	1840	1860	1880	1900	1920	1940	1960	POS	
1839	1859	1879	1899	1919	1939	1959	1989	1990	
				X					

7.3. CALIDAD JURIDICA			
PUBLICO		PRIVADO	X
Christie Cicirello Francisco S			

7.4. TENENCIA			
REGIMEN		FORMA	
PROPIEDAD INDIVIDUAL		PROPIETARIO	
PROPIEDAD COLECTIVA	COPROPIEDAD	X	ARRENDATARIO X
	COMUNIDAD		OTROS

7.5. AFECTACION LEGAL ACTUAL			
MONUMENTO HIST.		SITIO HISTÓRICO	
ZONA TÍPICA		SANTUARIO NATURAL.	
		INMUEBLE CONS.HIST.	
		ZONA CONS.HIST.	

7.6. OBSERVACIONES
-


(*) SS=Subsuelo; PP= Primer Piso; PS=Pisos Superiores

8. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

8.1. TIPOLOGÍA EDIFICIO		8.2. AGRUPAMIENTO		8.3. TIPO CUBIERTA	
MANZANA	X	AISLADA	X	HORIZONTAL	
ESQUINA		PAREADA		INCLINADA	X
ENTRE MEDIANERO		CONTINUA		CURVA	

8.4. SUPERFICIE		8.5. ALTURA		8.6. ANTEJARDÍN	
TERRENO	EDIFICADA	NRO. PISOS	METROS	METROS	
2200 M2	4879 M2	3	Mt	0 Mt	

8.7. MATERIALIDAD			
ESTRUCTURA	TECHUMBRE	FACHADA	OTROS
Albañilería	Acero galvanizado	Ladrillo	

8.8. ELEMENTOS SIGNIFICATIVOS					FOTO DETALLE
ESTILO	ESTRUCT.	FACHADA	VEGETAC.	ELEM. PUNT.	
		X			
DESCRIPCIÓN					
Destaca el juego volumétrico que corona el edificio, de alusión neogótica, con mansardas que sobresalen cada cierto tramo, y la expresión de las fachadas, con ladrillo a la vista y sobria ornamentación en vanos, fenestración y balcones.					

8.9. ESTADO DE CONSERVACIÓN		8.10. GRADO DE ALTERACIÓN		8.11. APTITUD PARA REHABILITACIÓN	
ELEMENTO	ENTORNO	SIN MODIFICACIÓN	X	VIVIENDA	
BUENO	BUENO	POCO MODIFICADO		EQUIPAMIENTO	
REGULAR	X	REGULAR	X	OTRO	
MALO		MALO			

8.12. RELACIÓN DE ELEMENTO CON SU ENTORNO					
IMAGEN URBANA RELEVANTE POR		FORMA PARTE DE UN CONJUNTO		PRESENCIA DE ELEM. PATRIMONIALES	
UBICACIÓN	X	SI	X	MONUMENTO HISTÓRICO	
SINGULARIDAD	X	NO		ESPACIO PÚBLICO RELEVANTE	X

8.13. OBSERVACIONES
-

