

Interior Courtyards and Habitability.
Impacts on Cité Housings in Central Santiago

Abstract

Heritage buildings are an opportunity to solve the in-creasing housing demand in cities, but many occupants have altered the original conditions to satisfy their living needs. This research develops a comparative analysis of comfort and energy efficiency in ‘cité’ housing to assess the effects of covering their interior courtyards. The methodology considers energy performance simulations of both the original design and current situation, and on-site data collection for three housing units located in downtown Santiago, Chile.

Results show that the courtyard is a key element to achieve comfort and energy efficiency. Homes with cov-ered courtyards do not reach levels of light comfort and depend on artificial lighting, increasing energy demand. Courtyard ventilation in the original design performs as an efficient passive strategy but, in the current scenario, living spaces show air tightness. Thermal simulations show that modified homes do not achieve comfort levels in winter and could result in overheating in summer. Nevertheless, on-site measurements found that vege-tation in courtyards is an effective strategy that creates microclimates in summer, reducing the interior tem-perature through evapotranspiration processes.

Keywords

Comfort, heritage buildings, habitability standards, energy efficiency, vegetation

Patio interior y habitabilidad.
Impactos en viviendas cité de Santiago Centro^{1,2}

Resumen

Los edificios patrimoniales representan una oportunidad ante la demanda habi-tacional en las ciudades, pero muchos ocupantes los han alterado para satisfacer nuevas necesidades. Esta investigación analiza los niveles de confort y eficiencia energética de la vivienda ‘cité’ para evaluar los efectos de techar sus patios inte-riores. La metodología incluye simulaciones energéticas del diseño original y de su situación actual, así como la recolección de datos en terreno para tres unidades en el centro de Santiago de Chile.

Los resultados demuestran que el patio es un elemento clave para el confort y la eficiencia energética. Las viviendas con patios techados no logran un confort lumí-nico adecuado y dependen de la iluminación artificial, lo que aumenta el consumo eléctrico. La ventilación natural proporcionada por el patio original es una estra-tegia pasiva eficiente. Sin embargo, en la actualidad, los espacios presentan una alta hermeticidad, lo que limita esta ventilación. Las simulaciones indican que las viviendas modificadas no alcanzan temperaturas de confort en invierno y podrían sobrecalentarse en verano. No obstante, en el terreno se evidenció que la vegeta-ción en los patios crea microclimas en verano, reduciendo la temperatura mediante procesos de evapotranspiración.

Palabras clave

Confort térmico, edificios patrimoniales, estándares de habitabilidad, eficiencia energética, vegetación

Cristian Schmitt Rivera
Universidad Católica de Temuco
Temuco, Chile
cschmitt@uc.cl
<https://orcid.org/0000-0002-8038-5750>

Katherine Piedra Astudillo
BIOFILIA Arquitectura Sustentable
Santiago, Chile
katherinepiedra01@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5590-8265>

Waldo Bustamante Gómez
Escuela de Arquitectura.
Centro de Desarrollo Urbano
Sustentable, CEDEUS
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile
wbustamante@uc.cl
<https://orcid.org/0000-0002-0420-5383>

¹ Recibido: 27 de mayo de 2023. Aceptado: 03 de octubre de 2024.

² Los autores agradecen el apoyo recibido para el desarrollo de esta investigación, proporcionado por el CEDEUS, ANID FONDAPI 1523A0004.

INTRODUCCIÓN

El aumento de población y déficit habitacional en los centros históricos representa uno de los desafíos que generan una creciente preocupación en el desarrollo de las ciudades en la actualidad (De Ruyt, 2019). De acuerdo con el censo realizado, la población de Santiago de Chile aumentó de 6.094.118 habitantes en el año 2002 a 7.112.808 en 2017 (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2019). Frente a la necesidad de vivienda, los edificios patrimoniales se han convertido en una oportunidad para dar cabida a esta nueva demanda. En muchos casos, los nuevos usuarios de viviendas obreras o tipo ‘cité’ se han visto forzados realizar ampliaciones para satisfacer la falta de superficie habitable. Sin embargo, estas modificaciones también pueden resultar en un deterioro de las condiciones de habitabilidad afectando la salud de los residentes, así como, reduciendo la vida útil del edificio y el barrio.

Las condiciones de habitabilidad en las viviendas comprenden, entre otros, el confort térmico, el confort lumínico, el confort acústico y la calidad del aire interior. Estos factores están directamente relacionados con las condiciones climáticas, el diseño arquitectónico y la orientación del edificio, los materiales de construcción y el comportamiento de los usuarios (Bustamante et al., 2009). Estas condiciones pueden verse alteradas en edificios que presentan ampliaciones o renovaciones, debido a que los nuevos recintos pueden carecer de aislación térmica, iluminación natural y medios de ventilación adecuados. Como resultado, estas viviendas incurrir en un mayor gasto energético debido al aumento en los requerimientos de iluminación artificial y calefacción.

En edificios residenciales patrimoniales este es un tema complejo, ya que los criterios de conservación son sumamente restrictivos con el objetivo de conservar sus atributos y valores arquitectónicos (Observatorio de Ciudades UC, 2014). La normativa limita la intervención de las fachadas y volumetría construida, pero permite modificar los espacios interiores. Por lo tanto, muchos de los usuarios de estas viviendas han optado por techar los patios interiores para compensar la falta de superficie construida. Adicionalmente, los residentes a menudo usan estos espacios para el cultivo de plantas de interior. La presencia de vegetación en edificios puede impactar las condiciones de habitabilidad mediante el mejoramiento de la calidad del aire, disminución del deslumbramiento y protección ante la radiación solar en verano (Camous y Watson, 1986; Mangone et al., 2014; Szkordilisz & Kiss, 2016). Este aporte a la regulación de la temperatura puede resultar en un ahorro energético en la vivienda, sin embargo, la construcción de ampliaciones también puede afectar este rendimiento.

Esta investigación estudia las condiciones de habitabilidad en edificios patrimoniales residenciales con el fin de desarrollar un diagnóstico que permita orientar las estrategias de rehabilitación para mitigar los problemas de pobreza energética y, por ende, mejorar la calidad de vida de los usuarios. El análisis de las variables físicas que afectan las condiciones al interior de la vivienda —como los niveles de dióxido de carbono (CO2), condiciones de iluminación, ventilación y desempeño térmico— es fundamental para evaluar el impacto de las ampliaciones construidas por los usuarios y, así evitar, un grado de deterioro permanente. De manera complementaria, el estudio analiza el impacto de la vegetación al interior de los patios cerrados en el desempeño térmico de la vivienda.

El centro de Santiago presenta uno de los mayores niveles de déficit habitacional en Chile, por lo que el equilibrio entre el resguardo de los edificios patrimoniales y la mejora de sus condiciones de habitabilidad es fundamental para la resiliencia de la ciudad. Esta investigación analiza el caso de los conjuntos habitacionales tipo cité ubicados en esta área.

LOS CONJUNTOS DE VIVIENDA TIPO CITÉ

Los cités representan el primer modelo de vivienda social en Chile y fueron construidos desde fines del siglo XIX hasta mediados del siglo XX. Surgen como respuesta ante la crisis habitacional causada por las migraciones de mano de obra de origen rural hacia la ciudad y el aumento de obreros cesantes. Estos habitantes residían de forma precaria en ranchos y conventillos sin servicios higiénicos y alcantarillados, donde proliferaban enfermedades contagiosas y pestes. En 1906, la Ley de Habitaciones Obreras promovió la construcción de una solución más higiénica. Los cité y pasajes representan el 90 % de las viviendas construidas bajo esta ley. Estos conjuntos recuperan los predios disponibles al interior de las manzanas del centro de la ciudad ocasionados por la demolición de conventillos o casas señoriales. Se inspiran en el modelo europeo de las *Cités Ouvrières*, el cual es adaptado al contexto chileno resultando en diversos estilos arquitectónicos inspirados en las tendencias de la época. El cité constituye uno de los sectores habitacionales más tradicionales de la

Figura 1

Ubicación de conjuntos cité en Santiago Centro

ciudad con 800 casos en la ciudad de Santiago que comprenden una población estimada de 80 mil habitantes de sectores con ingresos medios bajos y bajos (Observatorio de Ciudades UC, 2012). Solo en la comuna de Santiago Centro existen 178 conjuntos y muchos de ellos cuentan con la designación de Edificio Patrimonial (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2016) (Figura 1).

Los conjuntos normalmente poseen una configuración alargada hacia el interior de la manzana, la que varía de acuerdo con los sendos terrenos en los que se construyeron, adaptándose al tejido existente. Sus fachadas mantienen la continuidad del entorno, sin embargo, su tratamiento incorpora tendencias europeas combinando estilos art-deco, art nouveau y neogótico. Este modelo de vivienda denso, pero respetuoso de su entorno construido, posee estándares que, en muchos casos, superan a los de la vivienda social actual. El cité consiste en un conjunto de viviendas adosadas de uno o dos pisos de altura, que varían entre las seis y 30 unidades. Las viviendas se distribuyen enfrentando una estrecha calle, generalmente de no más de 5 m de ancho, que sirve como espacio común del conjunto. Si esta circulación penetra parcialmente la manzana se le llama cité y si divide la manzana se designa como pasaje. Cada unidad de vivienda posee una superficie útil entre 50 m² y 80 m² y puede albergar de uno a tres dormitorios, además de comedor, living, cocina, baño y un patio interior abierto (Urmeneta, 1984). Su distribución en planta puede tener forma de O, L o C dependiendo de la orientación del edificio y la ubicación del patio interior para permitir una ventilación e iluminación natural en todas las habitaciones. Sin embargo, debido al estrecho espacio común de los conjuntos, las viviendas generalmente carecen de un asoleamiento adecuado.

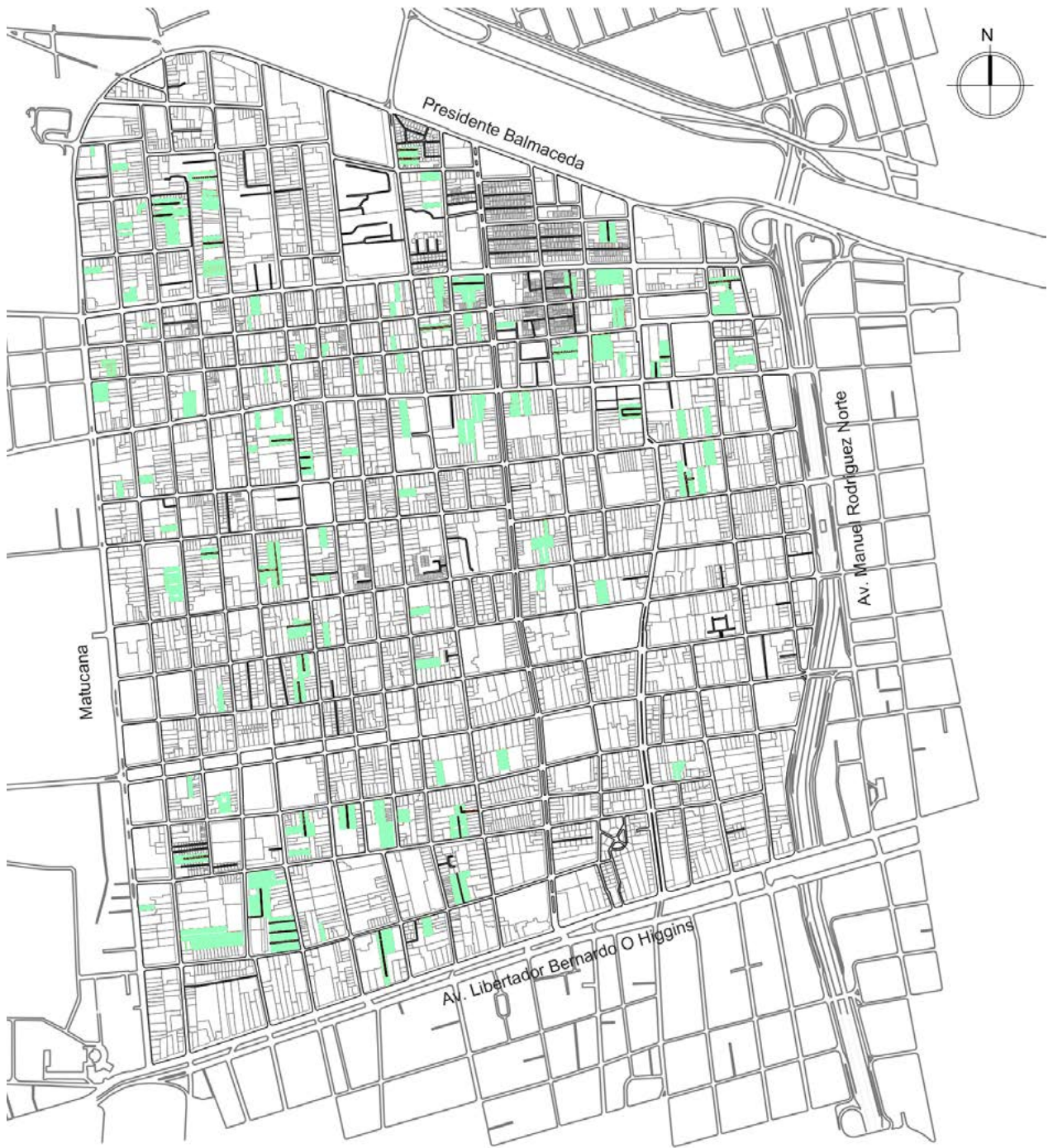
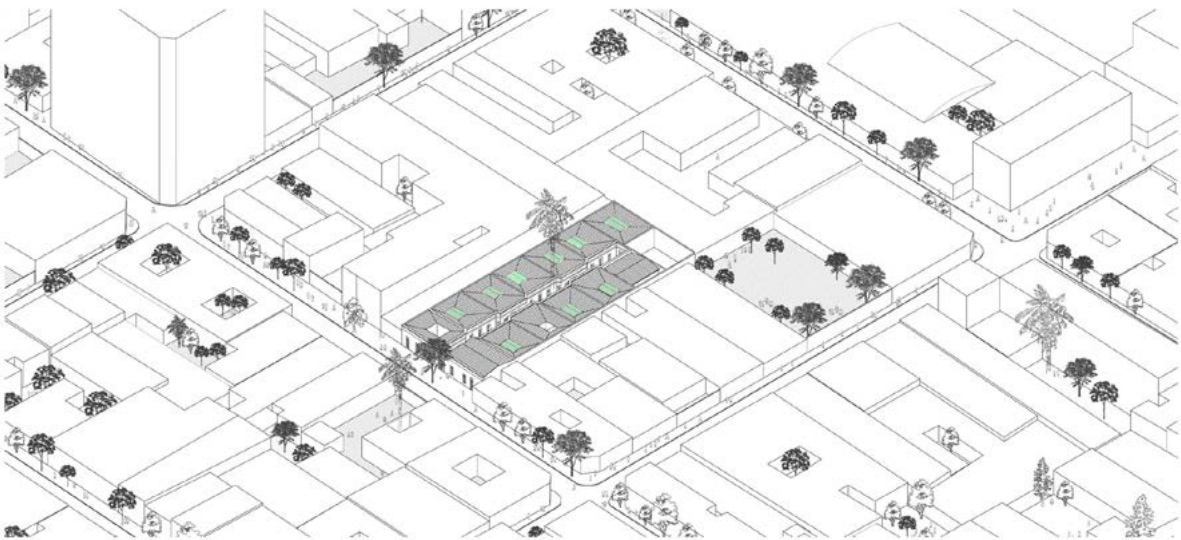


Figura 2
Cité ubicado en García Reyes 333, Santiago
Los patios interiores techados se señalan en verde.

Figura 3
Pacios interiores techados en viviendas cité de Santiago Centro



Los cités han sobrevivido a los terremotos y a la presión de desarrollos inmobiliarios que buscan una ubicación central, sin embargo, presentan una condición de abandono con un deterioro físico y social. Entre 1992 y 2001 se ejecutó el proyecto de recuperación de pasajes y cités desarrollado a través de la Corporación de Desarrollo de Santiago, que promovió la participación de los residentes para implementar trabajos de mejoramiento en redes de electricidad, agua y alcantarillado, así como en pavimentos y en fachadas (Corporación para el Desarrollo de Santiago [CORDESAN], 2018; Ilustre Municipalidad de Santiago, 2016). Estas intervenciones se realizaron en los espacios comunes de los conjuntos, pero al interior de las viviendas aún existen problemas de mantención y hacinamiento por las cuales los mismos usuarios han debido realizar intervenciones.

Una parte sustancial de los habitantes corresponde a familias con ingresos modestos que se han visto afectadas por el incremento del costo de otras alternativas de vivienda en la zona y adultos mayores con un fuerte sentido de pertenencia del lugar. Los residentes del cité poseen una alta continuidad en el tiempo y, ante la imposibilidad de mudarse, presentan una actitud resiliente y adaptativa. Ante fenómenos, como la expansión de las familias, cambio de uso de los recintos y limitaciones de tamaño, es común que los espacios diseñados originalmente no cumplan con las recientes necesidades y que los residentes requieran de nuevos espacios. Por ello, muchos usuarios han modificado los patios interiores, transformándolos en espacios cubiertos y se han convertido en recintos con una alta ocupación dentro de la vivienda. Sin embargo, esta intervención bloquea las ventanas al exterior de las habitaciones y afecta las condiciones ambientales interiores y, por lo tanto, el bienestar de sus habitantes (Figuras 2 y 3). Debido a ello y a la antigüedad de los conjuntos, muchas de estas viviendas presentan un alto deterioro. Según el catastro realizado por Observatorio de Ciudades UC (2014) existe la posibilidad de recuperar el 83 % de los cités existentes, por lo que requieren urgentemente ser intervenidos para mejorar sus condiciones de bienestar.

Tabla 1
Casos de estudio

Este estudio analiza tres unidades de conjuntos cité que forman parte de los bienes inmuebles de conservación histórica construidos entre los años 1906 y 1945 (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2016): cité García Reyes 333 y General Bulnes 1411. Para efectos de este estudio se denominan de la siguiente manera:

1. **Caso A:** Vivienda L3 - Cité García Reyes 333.
2. **Caso B:** Vivienda N.° 13 - Cité General Bulnes 1411.
3. **Caso C:** Vivienda N.° 8 - Cité General Bulnes 1411.

Estas viviendas poseen una superficie habitable, altura y volumetría similar. Todos los casos fueron construidos de acuerdo con los estándares locales de principios del siglo XX utilizando muros de albañilería y adobe; pisos de madera; techumbre de cerchas de madera con aislación de barro y cubierta de plancha de acero; y ventanas de madera con vidrio simple. Los patios interiores poseen una superficie de 12 m² aproximadamente y su ubicación varía según la distribución en planta de las viviendas, sin embargo, las tres unidades han sido modificadas por sus usuarios cubriendo dicho patio (Tabla 1).

La planta de estas casas con patio interior es una distribución representativa de la vivienda cité e implica una replicabilidad metodológica del estudio a otras viviendas con características similares, así como un aporte a la recuperación de los conjuntos patrimoniales.

Caso A	Caso B	Caso C
García Reyes 333 Viv. 3	Gral. Bulnes 1411 Viv. 13	Gral. Bulnes 1411 Viv. 8.
Orientación sur	Orientación sur	Orientación norte
1 piso	1 piso	1 piso
Sup. total: 103,2 m²	Sup. total: 78,8 m²	Sup. total: 68,5 m²
Sup. patio interior: 12 m²	Sup. patio interior: 11,6 m²	Sup. patio interior: 13 m²

METODOLOGÍA

El estudio considera un análisis comparativo de factores físicos que determinan la calidad ambiental interior, los niveles de confort de los usuarios y el desempeño energético de tres viviendas tipo cité. Las mediciones consideran tanto la recopilación de datos en terreno como simulaciones ambientales/energéticas para evaluar el impacto del patio interior en el desempeño de la edificación. El análisis también identifica patologías y alteraciones que pudiesen originarse al techar el patio interior.

Mediciones en terreno

Las mediciones realizadas en los patios y dormitorios de las viviendas recopilaron información sobre la temperatura del aire, la temperatura de la superficie de muros y cubiertas, así como los niveles de iluminación natural y CO₂. La recolección de datos sobre temperatura e iluminación natural considera el período entre el 15 y 31 de marzo, es decir, a fines de verano. Se realizaron registros cada 10 minutos utilizando equipos HOBOS U10 Temp/RH para temperatura y humedad, así como equipos HOBO

Pendant®/Light,64K para la iluminación natural. La medición de niveles de CO₂ se realizó entre el 27 de mayo y 2 de junio, cuando las temperaturas bajan y existe una mayor deficiencia de ventilación natural. Los niveles fueron registrados cada 5 minutos con equipos HOBO MX CO₂.

Simulaciones energéticas y ensayo en túnel de viento

Para el estudio se realizaron modelos energéticos de la temperatura interior y niveles de iluminación natural de las viviendas para comparar el desempeño de su diseño original —patio interior descubierto— con su situación actual —patio cubierto—.

Se realizaron simulaciones de temperatura interior y niveles de iluminancia para comparar el desempeño del diseño del edificio original —patio interior abierto— con el escenario actual —patio cubierto—. Se efectuaron pruebas utilizando el software DesignBuilder durante una semana en la temporada de verano (1 al 5 de enero) y una semana en la temporada de invierno (1 al 5 de julio). También se ejecutaron simulaciones para el período de transición verano-otoño (del 15 al 31 de marzo) para comparar con los datos recopilados en el sitio. A fin de evaluar el comportamiento del edificio y determinar las demandas de calefacción y refrigeración, se utilizaron como referencia los estándares vigentes de desempeño térmico y consumo energético definidos por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) para la ciudad de Santiago (Bustamante et al., 2009). Para este caso en particular, se consideró el número de usuarios de cuatro personas, infiltraciones de aire de 1,5 ACH y un rango de confort de temperatura entre los 18 °C y 27 °C.

Asimismo, se midieron los niveles de iluminación natural de acuerdo con las actividades realizadas en la vivienda para definir los estándares de confort visual y requisitos mínimos para cada recinto (Bustamante et al., 2009). Para evaluar el comportamiento de la ventilación natural de cada casa, se replicó el flujo de aire utilizando modelos a escala 1:50 sometidos a ensayos en un túnel de viento.

RESULTADOS

Análisis de comportamiento térmico

El diseño original de la vivienda considera los recintos que rodean al patio como aquellos con una mayor ocupación, pero, en la actualidad, se produce una situación distinta con la ocupación de la vivienda donde el patio techado presenta la mayor intensidad de uso. Por lo tanto, se realiza un análisis comparativo de las temperaturas del diseño original del patio abierto con la situación del patio techado. Los resultados obtenidos de las simulaciones de modelación energética y recolección de datos en terreno demuestran cómo distintos elementos arquitectónicos afectan el comportamiento térmico de los patios de las viviendas, pero, además, dan cuenta del impacto de la vegetación interior en el desempeño del edificio.

Simulaciones energéticas

Al realizar el levantamiento de las envolventes de las viviendas estudiadas, se pudo constatar que ninguna de ellas cumple con los estándares de transmitancia térmica requeridos por la norma chilena vigente para muros (1,9 W/m²K), techumbre (0,47 W/m²K) y pisos (0,7 W/m²K). Solo el desempeño de los muros de adobe de 30 cm de espesor (1,94 W/m²K) se aproxima a los requerimientos actuales. Los muros de albañilería (2,89 W/m²K), la techumbre (3,45 W/m²K) y pisos existentes (1,68 W/m²K) no cumplen con los requerimientos mínimos de la ordenanza. Sin embargo, la proporción de ventanas en muros sí cumple con los estipulado en la norma con superficies menores al 25 % de la fachada. Esto se fundamenta en que los sistemas constructivos en adobe exigen aberturas pequeñas debido a consideraciones estructurales.

Se realizaron simulaciones del desempeño térmico tanto del diseño original de la vivienda como de su situación actual para el período de un año. Los resultados para la estación de invierno muestran que ninguno de los casos logra alcanzar niveles de confort térmico. En la situación actual, se producen pérdidas de calor significativas en los patios techados, ya que sus cubiertas están construidas con planchas de acero zincado o policarbonato sin aislación, y su construcción presenta terminaciones deficientes con aberturas de hasta 5 cm de ancho. Sin embargo, en verano las viviendas alcanzan

Tabla 2
Sensación térmica en patios techados, análisis de cargas de refrigeración y calefacción

estándares de confort, ya que, tanto la masa térmica de los muros como la altura de piso a cielo de 3,20 m contribuyen a evitar el sobrecalentamiento de los recintos (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2011).

Por otra parte, los patios interiores techados, que presentan una superficie reducida de cubierta traslúcida, inciden positivamente en las condiciones de confort térmico de la vivienda, debido a que se limitan las ganancias por radiación solar directa, resultando en temperaturas interiores más bajas. Sin embargo, la situación actual todavía requiere de mayores cargas de calefacción y refrigeración que el diseño original, debido al fenómeno de ventilaciones no controladas y sobrecalentamiento que se produce en la cubierta (Tabla 2).

	Caso	Materialidad de la cubierta	Cubierta traslúcida (%)	Semana de verano	Semana de invierno	Demanda de refrigeración (kWh/m² año)	Demanda de calefacción (kWh/m² año)
A	 Caso Original	Patio abierto	-	31 % confort 19 % calor 50 % frío	100 % frío	29,28	192,51
	 Caso Actual	Patio cubierto: policarbonato	100 %	50 % confort 38 % calor 12 % frío	100 % frío	28,29	176,93
B	 Caso Original	Patio abierto	-	31 % confort 19 % calor 50 % frío	100 % frío	3,0	123,8
	 Caso Actual	Patio cubierto: policarbonato, OSB y zinc	11 %	90 % confort 10 % calor 0 % frío	100 % frío	21,6	171,9
C	 Caso Original	Patio abierto	-	31 % confort 19 % calor 50 % frío	100 % frío	5,4	86,4
	 Caso Actual	Patio cubierto: policarbonato, OSB y zinc	22 %	60 % confort 37 % calor 3 % frío	95 % frío	17,0	121,4

Recolección de temperatura en terreno – patios techados

La recolección de datos realizada en los patios techados de los casos B y C presentan niveles de incomodidad del 45 % y 57 % del tiempo registrado, respectivamente. El patio techado del caso A posee una cubierta 100 % traslúcida por lo que se esperaría que se registren temperaturas con sobrecalentamiento y altos niveles de incomodidad, pero sorprendentemente presenta niveles de confort un 87 % del tiempo. Este es el único patio que cuenta con una importante vegetación interior que genera sombra y evita la radiación solar directa sobre muros y pisos. De forma complementaria, el proceso de evapotranspiración de la vegetación contribuye a controlar la temperatura interior de la vivienda (Tabla 3).

Tabla 3
Recolección de datos sobre la sensación térmica en patios techados

Sensación térmica	Sensación de confort	Sensación de calor	Sensación de frío
Caso A (S)	87 %	0 %	13 %
Caso B (S)	55 %	3 %	42 %
Caso C (N)	43 %	27 %	30 %

La simulación realizada con el software DesignBuilder calcula el efecto de la sombra producida por la vegetación, pero no considera los efectos de los procesos de evapotranspiración que realizan las plantas. Por lo tanto, los resultados obtenidos muestran que las temperaturas del patio modeladas computacionalmente para el período de verano no coinciden con los datos registrados en terreno. En efecto, de acuerdo con la simulación, los niveles de confort térmico para el patio del caso A alcanzan solo el 50 % del tiempo mientras que los datos *in situ* registraron un 87 %.

La vegetación como un regulador de temperatura en la vivienda cité

La adición estratégica de vegetación en el patio interior de la vivienda tipo cité contribuye al ahorro de consumo energético, ya que las plantas bloquean la radiación solar directa y poseen propiedades de enfriamiento mediante procesos de evapotranspiración.

Una fotografía térmica del patio techado en el caso A fue capturada el 23 de mayo a la 1:00 p.m. usando una cámara térmica RayCAM. El patio posee una abundante vegetación interior (14 mace-teros) mientras que el ancho de su follaje oscila entre 0,3 m a 1 m. En este caso la temperatura de la vegetación se encontraba entre 16 °C y 17 °C, mientras que la techumbre alcanzó temperaturas superiores a los 41 °C.

Estos resultados se alinean con estudios en patios de viviendas en zonas semiáridas que señalan que el uso de áreas verdes impacta sobre propiedades climáticas específicas aportando a la regulación de microclimas y generación de confort térmico (Youcef et al., 2022). La vegetación posee un impac-to positivo en el desempeño de los patios interiores, ya que regula la temperatura del aire y produce sombra, reduciendo los niveles de incomodidad en períodos estivales. La vegetación actúa como una ‘sombrilla natural’ que refleja hasta un 30 % de la radiación solar (Camous y Watson, 1986). Por ejem-plo, cuando la temperatura exterior alcanza los 20 °C, la temperatura registrada sobre la superficie de los muros del patio es de solo 12,4 °C debido al efecto de la sombra.

Para los fines de esta investigación, se realizó un análisis comparativo de la temperatura de los patios techados de los casos A y B de los tres días que presentaron mayores oscilaciones térmicas dentro del período de recolección de datos, es decir, del 21 al 23 de marzo.

Los resultados muestran que el caso A presenta una fluctuación de temperatura menor que las del caso B. Las temperaturas del caso A se mantienen más constantes oscilando en los de niveles de confort entre 20 °C y 25 °C. La vegetación del patio del caso A regula la temperatura ambiente inte-rior a través del proceso de evapotranspiración y la densidad de su follaje actúa como una barrera contra flujos de aire inesperados. El patio alcanza una temperatura máxima de 24,1 °C durante el día y 20 °C por la noche, mientras que la temperatura exterior fluctúa entre los 29,4 °C (día) y los 13,6 °C (noche).

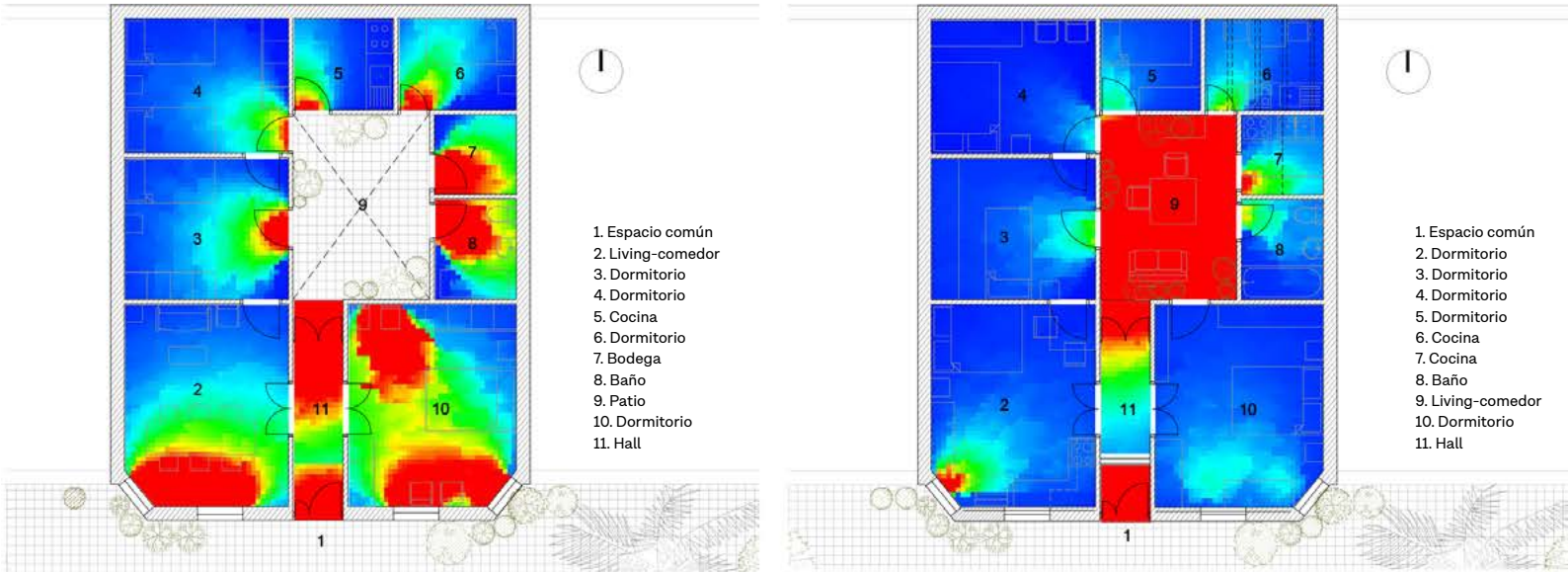
Análisis de iluminación natural

Se llevaron a cabo simulaciones sDA (Spatial Daylight Autonomy) utilizando el software DesignBuilder para evaluar las condiciones de iluminación natural a lo largo del año. El análisis consideró un estándar de sDA 300/50 % —es decir, 300 lux para el 50 % de las horas de utiliza-ción— para evaluar los niveles de iluminación de las habitaciones adyacentes al patio, tanto para el diseño original de las viviendas como para el escenario actual. La simulación de iluminación consi-dera condiciones externas de 8500 lux para cielos nublados en la ciudad de Santiago. Como niveles aceptables de confort se considera 100 lux para dormitorios, 300 lux para el estar y 400 lux para la preparación de alimentos (Brophy & Lewis, 2011).

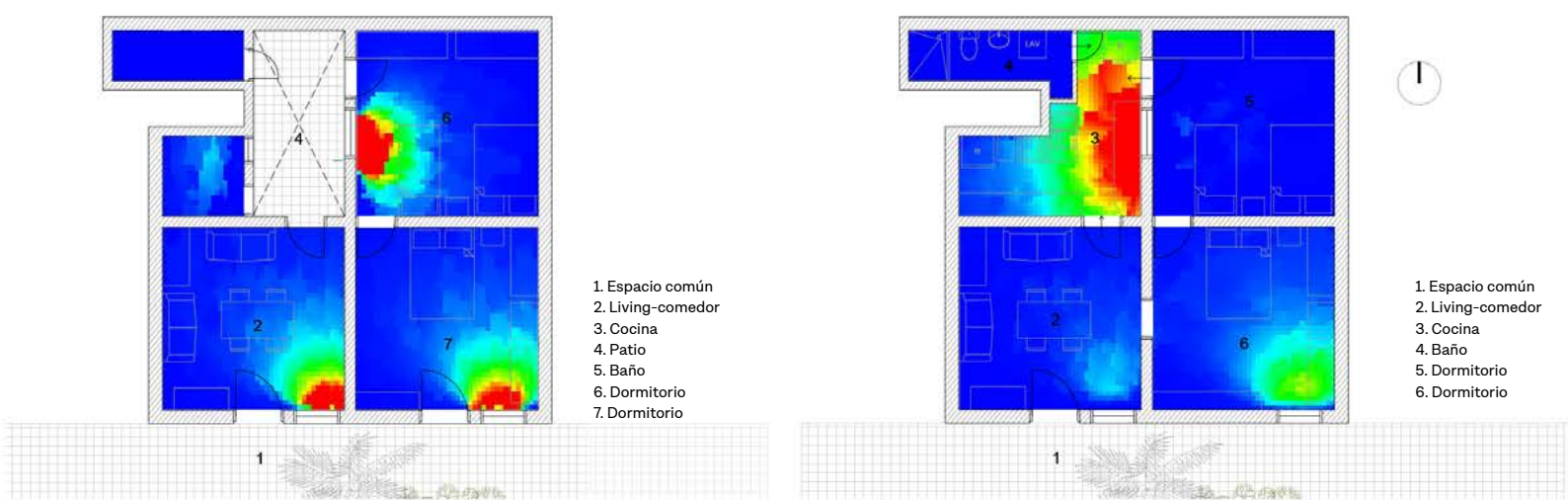
Los tres casos de estudio entregan resultados similares donde, a pesar de tener fenestraciones aco-tadas en fachada, el diseño original logra niveles aceptables de comodidad lumínica entre 80 y 300 lux para dormitorios y salas de estar. Las estrategias consideran al patio interior como fuente

Figura 4
Análisis comparativo de iluminación natural para el diseño original (izquierda) y la situación actual con el patio cubierto (derecha)

Caso A



Caso B



Caso C

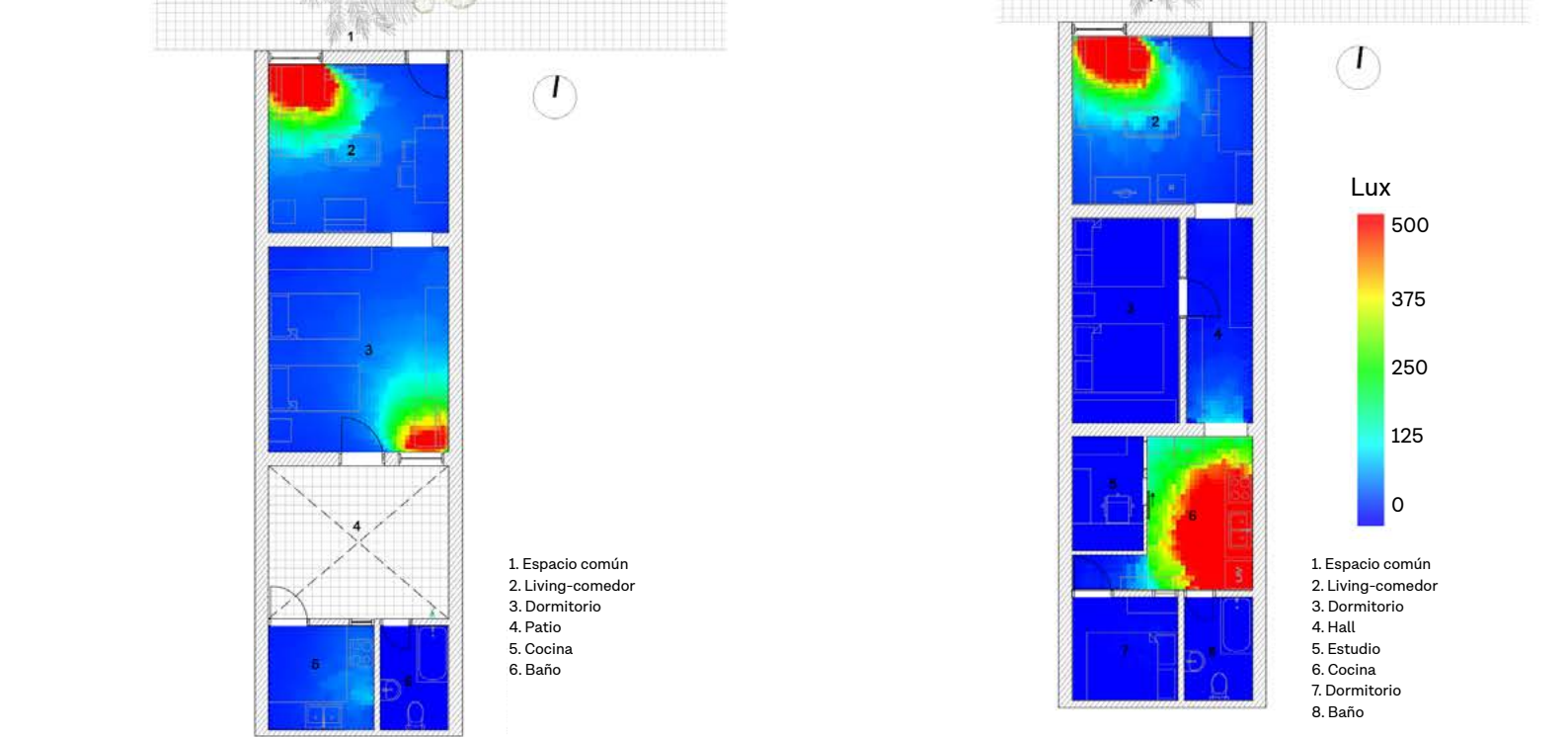


Figura 5
Ensayo de túnel de viento para el diseño original (izquierda) y la situación actual con el patio cubierto (derecha)

de iluminación y se complementa con el uso de puertas con ventanas en su parte superior para ayudar a iluminar y ventilar los recintos. Se aprecia que tanto la ubicación como la configuración del patio interior poseen un impacto en las condiciones de iluminación. El patio del caso A se ubica en la parte central de la vivienda y posee superficie vidriada en sus cuatro fachadas, resultando en una iluminación más homogénea en los recintos que lo rodean. En cambio, el caso C cuenta con aberturas de tamaño reducido hacia el patio interior y presenta niveles de iluminación más contrastantes en su diseño original.

El escenario actual con el patio interior techado no alcanza los estándares de confort lumínico y las habitaciones adyacentes se encuentran casi en una oscuridad total (0-30 lux) (Figura 4).

En los recintos ciegos la iluminación no supera los 10 lux cuando la cuando la radiación solar alcanza su punto máximo durante el día. Además, en los casos A y B, las ventanas hacia la fachada principal se encuentran parcialmente obstruidas por mobiliario (closets y armarios) afectando drásticamente el paso de luz natural. Mientras que en el caso C, el living-comedor mantiene las ventanas hacia la fachada norte sin obstrucciones y alcanza niveles de iluminación entre 200 y 400 lux durante el día.

Los usuarios han buscado alternativas para aumentar la luminosidad de las viviendas, como dejar la

puerta de acceso abierta en los períodos más calurosos. Sin embargo, en terreno se pudo constatar que los residentes dependen principalmente de la iluminación artificial, lo que afecta significativa-mente su consumo de electricidad y aumenta el costo del servicio entre 50 USD y 75 USD/mes.

Por otra parte, la cocina del caso B del escenario actual se ubica en el patio interior techado con una cubierta traslúcida y alcanza niveles de iluminación de hasta 900 lux. Esta condición produce un fenómeno de deslumbramiento que también puede ocasionar sensación de incomodidad.

Análisis de ventilación natural y niveles de CO₂

Las simulaciones realizadas con el túnel de viento dan cuenta que la ventilación cruzada que se genera a través del patio interior actúa como una estrategia pasiva eficiente para estas viviendas con una planta profunda. En el diseño original, las ventanas en la parte superior de las puertas también colaboran a ventilar desde las ventanas ubicadas a una altura inferior, creando una corriente que recorre en forma diagonal todo el recinto. Sin embargo, en el escenario de las viviendas ampliadas, el fenómeno de ventilación cruzada se ve alterado porque los patios interiores han sido cerrados y las ventanas sobre las puertas han sido modificadas o eliminadas (Figura 5).

En el escenario actual, las viviendas poseen ventilación hacia un solo frente, lo que se traduce en hermeticidad y falta de renovación de aire de los recintos. Al interior se concentra humedad, humo y contaminantes (el principal medio de calefacción es estufa a gas), mientras que la acumulación de aire viciado en cocina y baños produce malos olores. Esta condición se pudo constatar en la inspec-ción en terreno mediante la presencia de moho en las paredes y cielos de los dormitorios y baños. Esta patología, provocada por los altos niveles de humedad y falta de ventilación, puede resultar en el deterioro de la edificación.

Los resultados de las mediciones de CO₂ realizadas durante el monitoreo en terreno también dan cuenta del impacto de las ampliaciones realizadas en las renovaciones del aire de las viviendas. Se consideró como nivel aceptable de calidad del aire una concentración inferior a 1000 ppm (Brophy & Lewis, 2011; Wiley & Cory, 2013). Como referencia, durante toda la campaña de medición la concen-tración de CO₂ en el exterior fluctuó entre 300 y 470 ppm.

En los patios techados se registró un nivel aceptable de calidad de aire debido a una alta renovación de aire en estos recintos producidos por las deficientes terminaciones constructivas de las nue-vas estructuras que dejan espacios intersticiales. Estos espacios facilitan las renovaciones de aire fresco, pero a la vez, producen infiltraciones con pérdida de calor que afectan el desempeño térmico de la vivienda. Sin embargo, en las habitaciones se registraron altos niveles de CO₂ donde los niveles aceptables de calidad del aire solo alcanzan el 46 % del total de horas analizado. En el dormitorio principal del caso C, se registró que, a pesar de que no se utilizan estufas durante el período de me-dición, el 70 % del tiempo la concentración de CO₂ supera los 1000 ppm.

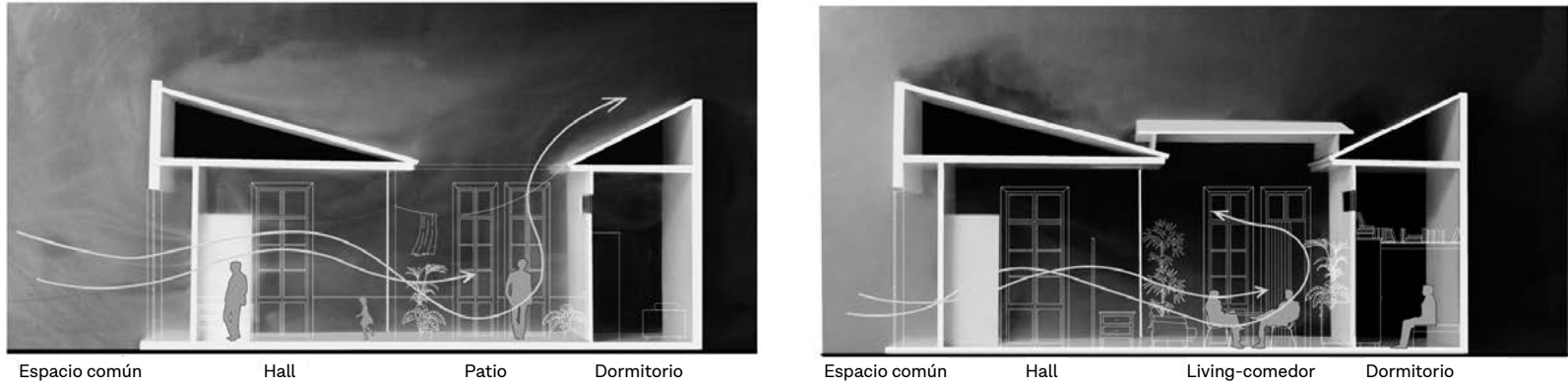
DISCUSIÓN

Los resultados del estudio destacan que el patio interior de las viviendas tipo cité es un elemento clave para lograr confort y eficiencia energética en el clima de Santiago. El diseño y orientación del patio influyen significativamente en el confort térmico, lumínico y la calidad del aire. Las amplia-ciones que implican techar estos patios alteran estas condiciones: si bien reducen las oscilaciones térmicas en invierno en comparación con el diseño original, pueden provocar un sobrecalentamiento en verano. Además, las infiltraciones de aire debido a una construcción defectuosa del techo afectan negativamente el desempeño térmico del edificio, aunque de manera involuntaria, facilitan la venti-lación natural y reducen los niveles de CO₂ durante el invierno.

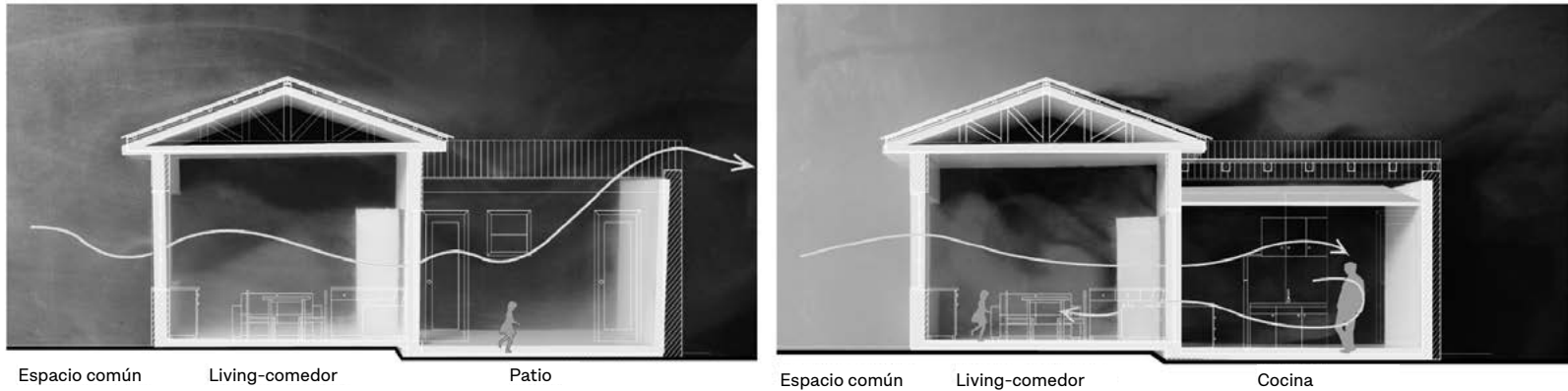
En general, las modificaciones realizadas han resultado en una iluminación natural deficiente, lo que afecta el confort de los usuarios y genera un impacto ambiental y económico, ya que las viviendas dependen en mayor medida de la iluminación artificial, incrementando así el consumo energético.

Asimismo, los resultados obtenidos, tanto a partir de modelos computacionales como de mediciones en terreno, evidencian el impacto de techar el patio interior. Las diferencias entre los resultados de los métodos utilizados permitieron identificar a la vegetación interior como un elemento influyente en las condiciones de habitabilidad. La vegetación en los patios interiores es una estrategia pasiva efectiva que crea microclimas en verano reduciendo la temperatura interior a través de procesos de evapotranspiración.

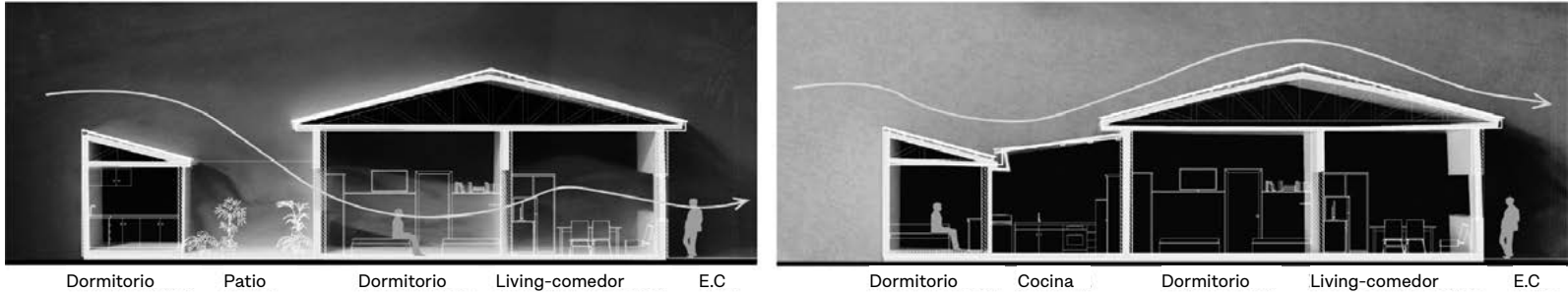
Caso A



Caso B



Caso C



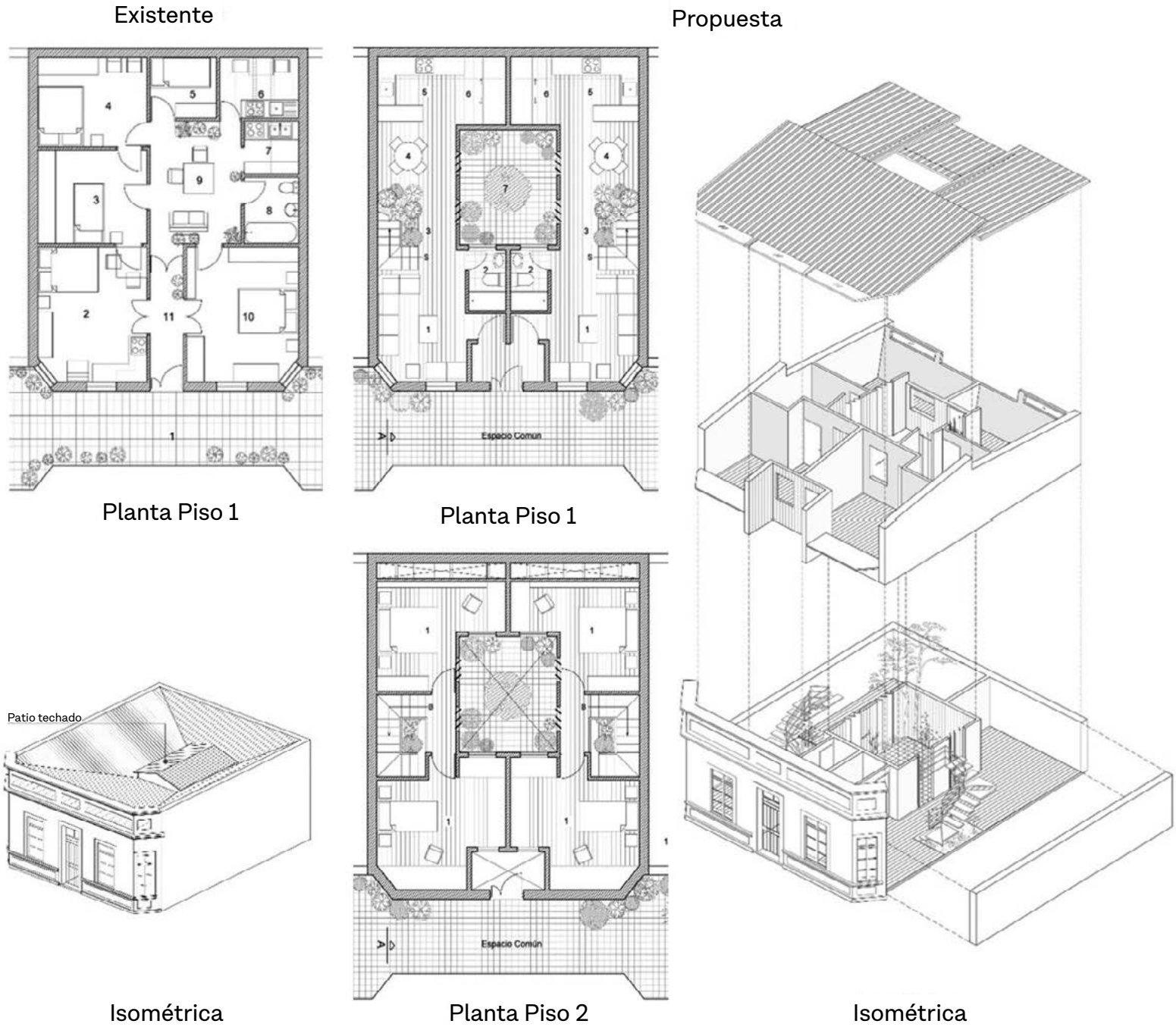


Figura 6
Ejercicio proyectual para la rehabilitación de una vivienda cité con patio interior
Caso A: Planta e isométrica de la situación actual (izquierda). Plantas e isométrica explotada de la propuesta (derecha).

Las viviendas presentan un serio nivel de deterioro. Sin embargo, poseen una ubicación privilegiada en áreas centrales de la ciudad, sus residentes cuentan con un alto nivel de arraigo y existe la factibilidad técnica de recuperar gran parte de ellas. Por lo tanto, es relevante desarrollar y evaluar alternativas que mejoren sus condiciones y prolonguen la vida útil de la vivienda sin alterar sus valores patrimoniales. Estas intervenciones deben responder a su ocupación actual y, a la vez, reducir sus demandas energéticas.

Ejercicio proyectual

Para evaluar la viabilidad de preservar la vivienda cité, se ha desarrollado un ejercicio proyectual aplicado a los requerimientos específicos de uno de los casos de estudio. Se intervino el caso A construido en 1906 y restaurado en 2001. El inmueble cuenta, en la actualidad, con una superficie habitable de 103,20 m² y viven en él dos familias, de tres integrantes cada una. Dentro de los atributos morfológicos del edificio destaca su configuración compuesta por volumetría sencilla, fachada continua y ventanas reducidas, así como una planta funcional con espacios dispuestos en torno al patio interior. Los criterios de intervención conservan la volumetría existente, composición de fachada y

Tabla 4
Consumo energético en calefacción y refrigeración del diseño original, la situación actual y la propuesta de diseño para el caso A

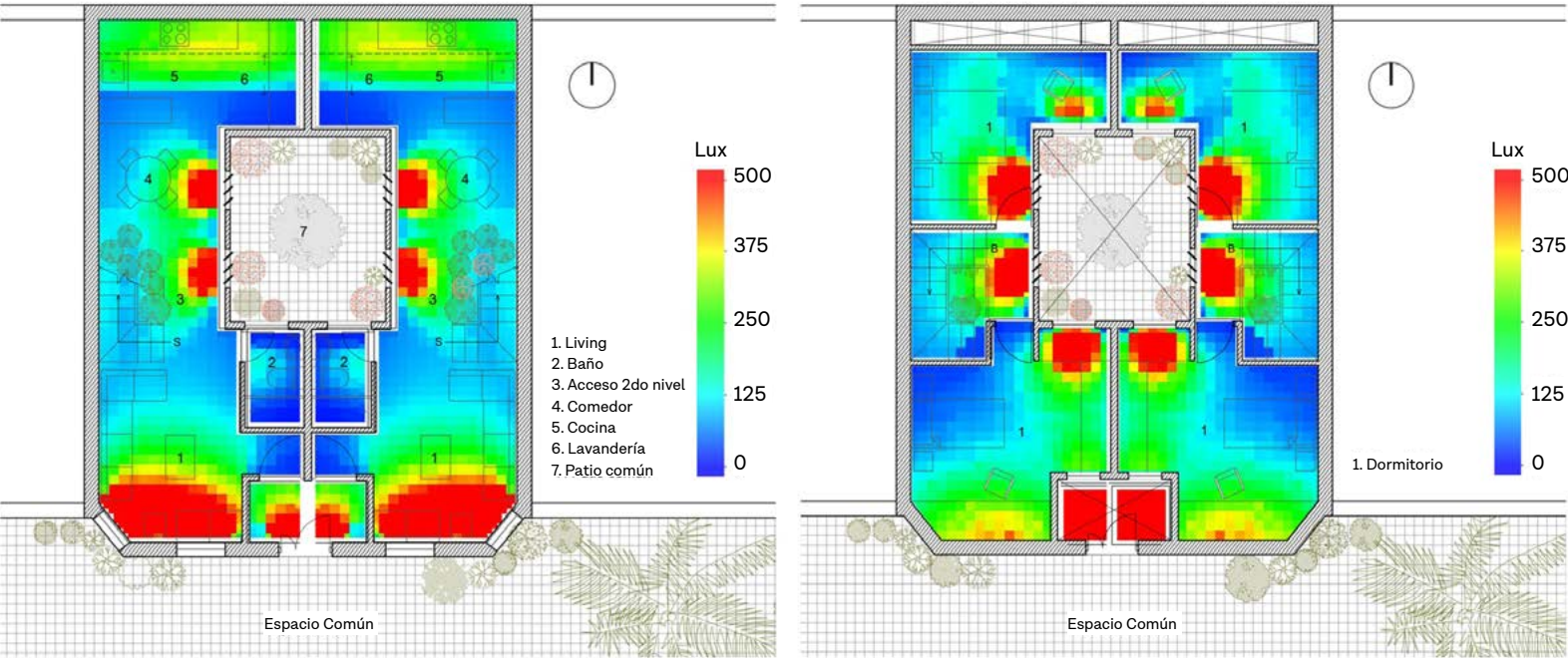
Figura 7
Análisis de iluminación natural de la propuesta
Planta primer nivel (izquierda) y segundo nivel (derecha).

el patio como elemento principal. En torno a este elemento se diseñan dos viviendas adosadas e independientes de 91,5 m². La generosa altura del edificio original permite acomodar dos niveles para cada vivienda para distribuir las áreas comunes en la planta baja y los dormitorios en el segundo nivel (Figura 6). La propuesta considera las modificaciones estructurales necesarias para incorporar el segundo nivel, así como la posibilidad de reemplazar las redes eléctricas y sanitarias defectuosas. Los muros de adobe y ventanas existentes en la fachada se conservan como parte de los atributos del edificio original (valor U de 1,94 W/m²K). Sin embargo, la nueva envolvente del edificio contempla muros con aislación de lana mineral de 90 mm (valor U de 0,34 W/m²K) y techumbre con aislación de 120 mm (valor U de 0,28 W/m²K).

Para evaluar el impacto de la intervención, se analiza el comportamiento térmico, iluminación natural y ventilación de la propuesta mediante modelaciones según la metodología empleada anteriormente. El análisis térmico indica que la propuesta reduce significativamente la demanda energética en comparación con el diseño original y la situación actual. Para alcanzar las mismas temperaturas de confort, la nueva configuración requiere un 26 % menos de energía para calefacción y un 46 % menos para refrigeración respecto de lo necesario en la actualidad (Tabla 4).

Demanda energética Caso A	Original (91,04 m ²)	Actual (103,20 m ²)	Propuesta (2 viv. de 91,50 m ² c/u)
Calefacción anual (kWh/m ² año)	192,51	176,93	46,00
Refrigeración anual (kWh/m ² año)	29,80	28,29	13,00
TOTAL (kWh/m ² año)	222,31	205,22	58,00

La simulación de iluminación natural confirma el impacto del patio interior como principal fuente de luz para los recintos. El diseño incorpora el uso de celosías y vegetación para optimizar esta función. Las celosías permiten un control adecuado de la intensidad de la luz y la reducción del deslumbramiento, asegurando una iluminación homogénea a través de la radiación indirecta, mientras que la vegetación contribuye a la creación de un ambiente más natural y agradable. Además se diseñan tragaluces en la cubierta para compensar la falta de iluminación en las áreas más oscuras. La combinación de estas soluciones asegura una iluminación equilibrada y de intensidad adecuada, reduciendo la necesidad de iluminación artificial durante el día (Figura 7).



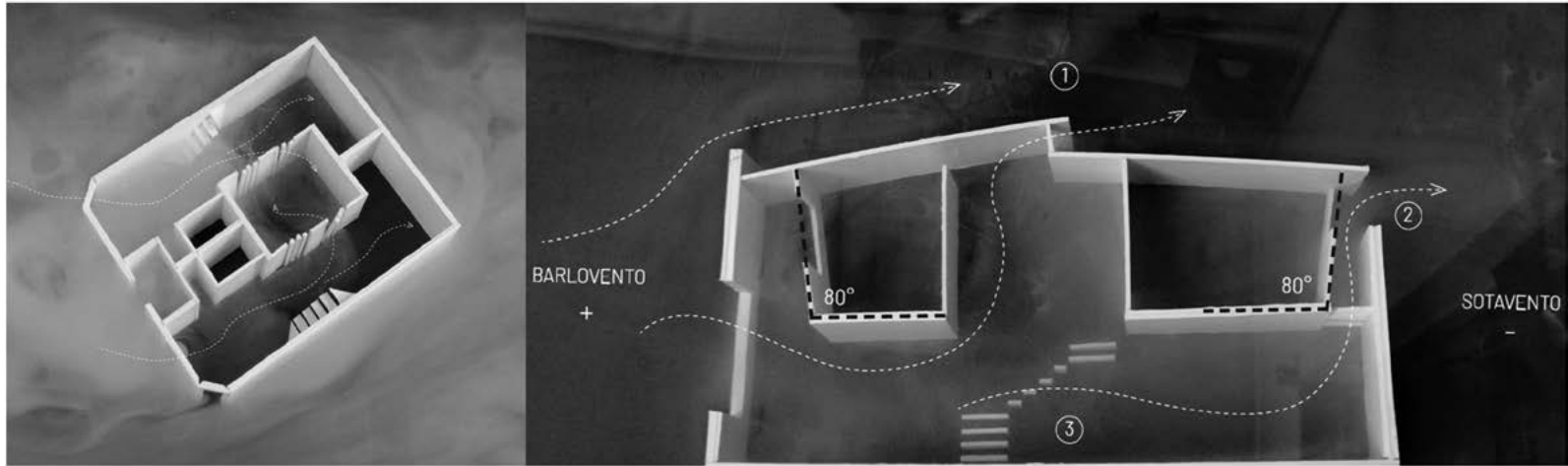


Figura 8
Ensayo de túnel de viento donde se aprecia el efecto de la ventilación cruzada

Las estrategias de ventilación natural consideran una planta abierta en el primer nivel que, combinada con el patio y las pendientes de la techumbre, resulta en un sistema de ventilación cruzada y efecto chimenea que favorece la circulación de aire. Los techos se orientan de acuerdo con los vientos predominantes para favorecer la captación y extracción de aire. En las zonas más alejadas del patio interior, este efecto se complementa con el uso de aleros y muros inclinados que permiten direccionar el flujo hacia el exterior. El modelo de túnel de viento muestra cómo el flujo de aire recorre toda la vivienda sin necesidad de equipos mecánicos (Figura 8).

CONCLUSIONES

El análisis de la calidad ambiental interior y desempeño energético de las viviendas cité en la ciudad de Santiago permitió cuantificar el efecto de techar el patio interior y su impacto negativo en sus condiciones de habitabilidad. A partir del estudio, también se identificó y evaluó el aporte sustancial de la vegetación interior para crear microclimas que colaboran a regular el ambiente de la vivienda.

Estas viviendas representan una parte significativa en la historia urbana local y de la identidad de sus residentes, por lo que el estudio de alternativas de diseño para su mejoramiento adquiere relevancia. El desarrollo de una propuesta proyectual permitió evaluar el desempeño de una solución que extiende su vida útil mejorando sus condiciones de confort, a la vez que mantiene sus atributos patrimoniales. ●

REFERENCIAS

Brophy, V., & Lewis, J. O. (2011). *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. Routledge.

Bustamante, W., Rozas, Y., Cepeda, R., Encinas, F. y Martínez, P. (2009). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Camous, R. y Watson, D. (1986). *El hábitat bioclimático: de la concepción a la construcción*. Gustavo Gili.

Corporación para el Desarrollo de Santiago. (2018). *Programa de recuperación de cités y pasajes*. <https://cordesansantiago.cl/programa-de-recuperacion-de-cites-y-pasajes/>

De Ruyt, F. (11 de abril de 2019). Déficit habitacional en Chile afecta a 2,2 millones de personas según estudio. *La Tercera*. <https://www.latercera.com/nacional/noticia/deficit-habitacional-22-millones-personas/609656/>

Ilustre Municipalidad de Santiago. (2016). *Memoria programa de Recuperación de Cités y Pasajes 2013-2016. Comuna de Santiago*.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2019). *Publicación estadísticas vitales-cifras provisionales 2017*. https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/nacimientos-matrimonios-y-defunciones/publicaciones-y-anuarios/anuarios-de-estad%C3%ADsticas-vitales/ine_estad%C3%ADsticas-vitales_cifras-provisionales_2017.pdf?sfvrsn=eee80235_3

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2011). *Arquitectura tradicional en azuay y cañar*. Cuenca, Ecuador.

Ley N.º 1.838. Ley de Habitaciones Obreras. 20 de febrero de 1906.

Mangone, G., Kurvers, S. R., & Luscuere, P. G. (2014). Constructing thermal comfort: Investigating the effect of vegetation on indoor thermal comfort through a four season thermal comfort quasi-experiment. *Building and Environment*, 81, 410–426. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.019>

Observatorio de Ciudades UC. (2012). *Estudio de rehabilitación de cités y pasajes en la Región Metropolitana*. Autor.

Observatorio de Ciudades UC. (2014). *Diagnóstico comunal de Santiago*. Autor. https://www.observatoriosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/09/OP-INFORME_1_DIAGNOSTICO_OCUC_20141.pdf

Szkordilis, F., & Kiss, M. (2016). Potential of Vegetation in Improving Indoor Thermal Comfort and Natural Ventilation. *Applied Mechanics and Materials*, 824, 278–287. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.278>

Urmeneta, R. (1984). *Condiciones físicas y sociales de conventillos, cités, pasajes y residenciales en la zona centro de Santiago: análisis descriptivo* [Tesis]. Instituto de Estudios Urbanos. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Wiley, D., & Cory, A. (2013). *Encyclopedia of School Health*. Sage Publications. <https://doi.org/10.4135/9781452276250>

Youcef, K., Merad, Y., Guedouh, M. S., & Farhi, A. (2022). Vegetation Impact on Thermal Comfort in Courtyard Houses Using Passive System Techniques. Case of Semi-Arid Areas. *International Journal of Innovative Studies in Sociology and Humanities*, 7(8), 77-86. <https://doi.org/10.20431/2456-4931.070807>