



Revista  
Hábitat  
Sustentable

ISSN 0719-0700

Vol. 9 N°. 1

Junio

2019



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO





**Revista  
Hábitat  
Sustentable**

ISSN 0719-0700

Vol. 9 N°. 1

junio

2019



**UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO**

**RECTOR:**

MAURICIO CATALDO MONSALVES

**DECANO FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO:**

ROBERTO EDUARDO BURDILES ALLENDE

**DIRECTOR GENERAL:**

Dr. RODRIGO GARCÍA ALVARADO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile  
rgarcia@ubiobio.cl

**EDITORIA RESPONSABLE:**

Dra. CLAUDIA MUÑOZ SANGUINETTI / Departamento Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
clmunoz@ubiobio.cl

**PRODUCTORA EDITORIAL:**

JOCELYN VIDAL RAMOS / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
javidal@ubiobio.cl

**CORRECCIÓN DE ESTILO:**

Dra. OLGA OSTRIA REINOSO, Departamento Estudios Generales

**GESTIÓN INFORMÁTICA:**

KARINA LEIVA / Universidad del Bío-Bío, Chile

**COMITÉ PRODUCTIVO:**

Dra. M<sup>o</sup> BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

ALEJANDRA BANCALARI CORNEJO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

**CONSEJO EDITORIAL:**

Dra. MAUREEN TREBILCOCK KELLY / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

Dra. M<sup>o</sup> BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile  
Sevilla, Sevilla, España"

Dra. NINA HORMAZÁBAL / Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile

Dr. WALDO BUSTAMANTE / Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Dr. ERNESTO KUCHEN / Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, San Juan, Argentina

Dra. CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ / Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Dr. OLAVO ESCORCIA OYOLA / Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Dr. ALEXANDER GONZÁLEZ CASTAÑO / Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia

Dr. CARLOS RUBIO-BELLIDO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Dra. MARÍA DEL PILAR MERCADER MOYANO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Dr. VICENTE FLORES ALÉS / Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Dr. FLAVIO CELIS D'AMICO / Universidad de Alcalá, Madrid, España

Dr. ERNESTO ECHEVERRÍA VALIENTE / Universidad de Alcalá, Madrid, España

**TRADUCCIONES:**

THERESA ST JOHN, ABSTRACT  
CECILIA AGUAYO QUEZADA, ARTÍCULOS

Avda. Collao 1202  
CP: 4081112. Concepción, Chile  
TEL.(56-41)3111409

**DIRECTOR DE ARTE Y DIAGRAMACIÓN:**

IGNACIO A. SÁEZ ARANEDA

**FOTOGRAFÍA PORTADA:**

M<sup>o</sup> BEATRIZ PIDERIT MORENO / Escuela Politécnica Federal de Zúrich

**DIRECCIÓN:**

Revista HS indexada en Emerging Source Citation Index de Web of Science de Thomson Reuters, Avery Index, Latindex catálogo, Open Archives, Dialnet, Redib, Ebsco, JournalTOCs, Rebiun y ARLA (Asociación de Revistas Latinoamericanas de Arquitectura).

Los criterios expuestos en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de la dirección de la revista.

Revista Hábitat Sustentable es editada por el Facultad de Arquitecturas Construcción y Diseño de la Universidad del Bío-Bío, es financiada por el Fondo de Publicaciones Periódicas de la Vicerrectoría Académica, la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación y la Dirección de Postgrado de la Universidad del Bío-Bío.



**05 EDITORIAL**

Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti

**06 PLACEMAKING – TRANSFORMACIÓN DE UN LUGAR EN EL  
ASENTAMIENTO HUMANO SANTA JULIA, PIURA, PERÚ**

Stella Schroeder, Claudia Coello-Torres

**16 PROPUESTA DE HUMEDALES ARTIFICIALES, IMPULSORES DE  
BIODIVERSIDAD, QUE DEPURAN AGUAS CONTAMINADAS PARA LA  
RECUPERACIÓN DE LAGUNAS URBANAS DE CONCEPCIÓN**

Pedro Eulogio Cisterna-Osorio, Leonel Pérez Bustamante

**28 EL TECHO ESCUDO COMO CAPTADOR PLUVIAL EN CIUDAD  
JUÁREZ, MÉXICO**

Salvados Tobias Ramirez, Judith Gabriela Hernández Pérez

**42 PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE TECNOLOGÍAS DE VENTANAS  
EN ARGENTINA**

Maureen de Gastines, Andrea Elvira Pattini

**54 OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICANDO  
CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO EN UN EDIFICIO DE  
OFICINAS PÚBLICO EN SAN JUAN-ARGENTINA**

Bruno Damián Arballo, Ernesto Kuchen, Daniel Chuk

**68 LA INFLUENCIA DEL VIDRIO EN EL CONSUMO DE  
CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN E ILUMINACIÓN EN  
REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS DE OFICINAS BAJO CLIMA  
MEDITERRÁNEO PENINSULAR (1971-1980)**

Jorge Ávila-Delgado, María Robador-González, José Barrera-Vera, Madelyn Marrero



## EDITORIAL

Presentamos una nueva edición de la Revista Hábitat Sustentable, la cual se ve enmarcada en un escenario nacional centrado en el acuerdo bilateral que busca acoger y organizar la Conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático, a realizarse en Santiago de Chile (COP 25) en diciembre del año en curso. Según el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, la COP25, llamada también “COP de la acción”, se basará en el exitoso resultado de la COP24, celebrada en Polonia el año 2018, que dio como fruto el paquete de medidas Katowice sobre el clima mundial. Como anfitrión de la COP25, nuestro país tiene una oportunidad única para demostrar su liderazgo en acciones conducentes a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Es en tal sentido que las autoridades chilenas anunciaron, a principio del mes de junio, eliminar completamente el carbón para el año 2040, declarando, además, la intención de convertirse en un país libre de carbono al 2050.

Más allá de la legítima discusión sobre las tardías e insuficientes medidas para enfrentar este desfavorable escenario ambiental generado por la acción antrópica, este tipo de acciones son muy valiosas e instalan en la “agenda país”, temas de relevancia global en términos de sustentabilidad. En este contexto, los arquitectos e ingenieros tenemos una alta responsabilidad y, a la vez, una oportunidad de mejorar el diseño y ejecución de los edificios, lo que requiere estudios precisos de cada realidad local. Allí es donde la revista Hábitat Sustentable se permite contribuir con nuevos artículos y conocimientos específicos. Esta clase de publicaciones sirve de ejemplo de investigación y desarrollo, y esperamos inspiren a las nuevas generaciones de profesionales al desarrollo de una mayor responsabilidad social y ambiental.

En este nuevo número exponemos un valioso repertorio de investigaciones de autores iberoamericanos: el primero de ellos, realizado en Perú, da cuenta de un novedoso estudio sobre transformación de un lugar en el asentamiento humano, Santa Julia, Piura (*placemaking*). El segundo constituye un inédito trabajo investigativo, elaborado en Chile, que propone humedales artificiales para recuperar lagunas urbanas de Concepción, los cuales potencian la biodiversidad y mejoran la calidad de vida ciudadana. Compartimos,

luego, el artículo mexicano sobre los estudios del “techo escudo” como captador pluvial en Ciudad Juárez. El cuarto texto aporta resultados de estudios efectuados en Argentina referidos a las propiedades energéticas de tecnologías en ventanas. Desde el mismo país, se presenta una investigación sobre la optimización de la eficiencia energética al aplicar confort térmico adaptativo en un edificio de oficinas públicas, en la ciudad de San Juan. Finalmente, se da paso al último artículo de esta edición que presenta un enfoque sobre la influencia del acristalamiento en el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación en rehabilitación de edificios de oficinas, bajo clima mediterráneo peninsular (1971-1980), en España.

Una vez más, se trata de un número especial para HS, dado que -y gracias al proceso de consolidación que está experimentando al convertirse en una revista científica reconocida nacional e internacionalmente, que ha logrado valiosas indexaciones, como SCiELO, ESCI y otras-, hemos conseguido fortalecer nuestro Equipo Editorial, invitando a reconocidos investigadores, también nacionales e internacionales, a formar parte de él. De este modo, damos la más cordial bienvenida a la Dra. M. Beatriz Piderit (Universidad del Bío-Bío), la Dra. Nina Hormazábal (Universidad Santa María), el Dr. Waldo Bustamante (Pontificia Universidad Católica de Chile), el Dr. Carlos Rubio (Universidad de Sevilla) y el Dr. Vicente Flores (Universidad de Sevilla).

Imposible cerrar esta editorial sin agradecer a todo nuestro valioso equipo de producción y editorial por su permanente compromiso: la Productora Editorial Ing. Jocelyn Vidal, la Dra. Olga Ostría Reinoso, en labores de corrección de estilo, el Arquitecto Ignacio Sáez Araneda, en el trabajo de diagramación y a Karina Leiva, en el soporte informático. Asimismo, debo agradecer a todos los revisores que han colaborado y enriquecido el resultado de los artículos publicados. Vaya, por último, mi gratitud a los autores por la confianza depositada en HS.

Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti  
Editora Responsable HS







Recibido 21/06/2019  
Aceptado 26/06/2019

# PLACEMAKING – TRANSFORMACIÓN DE UN LUGAR EN EL ASENTAMIENTO HUMANO SANTA JULIA, PIURA, PERÚ

## PLACEMAKING: THE TRANSFORMATION OF A PLACE IN THE SANTA JULIA HUMAN SETTLEMENT, PIURA, PERU

STELLA SCHROEDER

Maestría en Urbanismo

Coordinadora y Docente Urbanismo en la Universidad de Piura

Piura, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-8591-2719>

[stella.schroeder@gmx.de](mailto:stella.schroeder@gmx.de)

CLAUDIA COELLO-TORRES

Arquitecta

Docente Arquitecturas Universidad de Piura

Piura, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-0873-1313>

[claudia.coello@udep.pe](mailto:claudia.coello@udep.pe)

### RESUMEN

Al gestionar los actuales desafíos en el desarrollo urbano, se debe encontrar un equilibrio entre los enfoques de la planificación oficial y las necesidades locales. Las dificultades que enfrenta el desarrollo urbano participativo deben contrastarse con el fenómeno de “hacer ciudades”, que se observa en ciudades de América Latina desde hace muchos años. El artículo describe una experiencia en búsqueda a una nueva metodología de hacer intervención en la ciudad y el espacio público que, desde la academia, permitan empoderar a sus habitantes para la reivindicación de sus derechos. Dicha experiencia consistió en intervenir en un espacio público seleccionado de la ciudad de Piura, Perú. Bajo el término de Placemaking, se articularon objetivos académicos y sociales mediante el mejoramiento de las condiciones físicas de la ciudad. De ella se expone el proceso de trabajo en campo, que permitió identificar las necesidades, afectaciones y vocación del lugar; el cual produjo un diagnóstico que sirvió de base para el desarrollo de los diseños, programar actividades con la comunidad y grupos de apoyo; así como, la gestión de recursos para la construcción y el seguimiento del impacto generado en el lugar.

### Palabras clave

espacio público, intervenciones urbanas, asentamientos humanos, utopías

### ABSTRACT

When managing current challenges in urban development, a balance must be found between official planning approaches and local needs. The difficulties faced by participatory urban development should match the phenomenon of “city-making”, which has been observed in Latin American cities for many years. This article describes an experience that sought a new methodology for intervention in cities and public spaces which, starting from academia, empowers inhabitants to insist on their rights. This experience consisted in intervening in a public space in the city of Piura, Peru. Under the concept of placemaking, academic and social objectives come together through the improvement of the physical conditions of cities. The fieldwork presented made it possible to identify the needs, pretenses and uses of the place; in turn, a diagnostic was produced that served as the basis for the development of the designs, programming of activities with the community, and support groups, as well as for the management of construction resources and monitoring of the impact on the place.

### Keywords

public space, urban interventions, human settlements, utopias

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el planeta se está convirtiendo en un mundo más urbano. En 2017, 4,1 mil millones de personas (55% de la población mundial) vivía en zonas urbanas. Eso es el doble que lo que era veinte años atrás (Banco Mundial, 2018). Las ciudades de América Latina se encuentran, asimismo, en una importante transición. También en 2017, la población urbana llegó aquí al 80.7 % del total (CELADE - División de Población de la CEPAL, 2017).

Las consecuencias sociales y económicas del desarrollo de la ciudad son complejas. Especialmente cuando las ciudades crecen muy rápido y sin control, aparecen problemas con los servicios básicos de los habitantes. Entonces, ¿cómo satisfacer esta demanda de la ciudad? El factor “calidad de vida” se convierte en el objetivo global, ya que determina la estabilidad política, económica y social de los futuros paisajes urbanos.

La ciudad debe ser para su gente, como declara el “derecho a la ciudad” asociado al pensamiento del sociólogo Henri Lefebvre (1967). La proclama describe la segregación socioeconómica en la ciudad en la década de 1960 y la consecuente reapropiación colectiva, en vista de la discriminación de amplios segmentos de la población.

Aunque hoy no prevalece la misma situación, regresa esta llamada y adquiere un nuevo significado: las necesidades básicas para la vida vuelven a ser cada vez más importantes ante la fragmentación, segregación y desigualdad de las ciudades.

Al mismo tiempo, una ciudad se define por sus espacios públicos. Sin espacio público, la ciudad es inimaginable para nosotros. En efecto, “el espacio público define la calidad de la ciudad, porque indica la calidad de vida de la gente y la calidad de la ciudadanía de sus habitantes.” (Borja y Zaida, 2003:16). Las diferentes cualidades sociales y estéticas de sus espacios públicos configuran el carácter de las ciudades, más que sus características topográficas o las peculiaridades de sus tipologías de construcción. Es el lugar donde se desarrollan las expresiones comunitarias necesarias para reconstruir redes sociales y mejorar la calidad de vida en la ciudad. En consecuencia, el espacio público debería dar continuidad a la ciudad y mantener un rol importante en el tejido urbano, ser multifuncional, accesible e inclusivo (*ibídem*).

En la práctica de planificación se ha dado al espacio público un papel decisivo en el desarrollo urbano en general. Una característica común es la ausencia de un espacio público que facilite la vida en comunidad, lo cual se explica desde su origen ligado a procesos urbanos al margen de las disposiciones urbanísticas. Muchas veces nos encontramos con situaciones de este tipo: plazas y parques descuidados, espacios públicos que no

responden a las necesidades de la población o al contexto y que, por lo tanto, son zonas inhabitadas, o son lugares cerrados, exclusivos y no disponibles para el uso total de la población (Low, 2005).

En las últimas décadas ha habido un notable mejoramiento en los niveles de dotación de infraestructura básica y equipamiento urbano, así como en las condiciones de habitabilidad de las ciudades, tanto en la calidad de las viviendas, como en la provisión de los equipamientos urbanos. Sin embargo, es mucho lo que falta por hacer para que existan espacios urbanos en los que prevalezcan condiciones materiales y ambientales adecuadas para todos, y se haga efectivo el “derecho a la ciudad”. “Las ciudades son capaces de proveer algo para cada uno solamente porque, y solo en el caso de que así sea, han sido creadas para cada uno” (Jacobs, 1967: 273). Por consiguiente, se necesita un nuevo proceso de diseño, uno más centrado en el contexto y en el proceso que en el producto final (Antonopoulou, Chondros y Koutsari, 2015).

El caso de la ciudad de Piura, Perú, constituye un claro ejemplo de la problemática que enfrenta la mayoría de las ciudades latinoamericanas. El fuerte crecimiento de la población se refleja en numerosos signos de congestión de todos los sistemas urbanos. De acuerdo con la percepción ciudadana sobre calidad de vida, la mayor parte de la población no se encuentra satisfecha con el espacio público disponible en el lugar donde vive (Schroeder). Una gran parte de la ciudad no cuenta con una planificación urbanística previa, debido, en gran medida, a la forma de ocupación del suelo, lo cual cause que los espacios públicos, la infraestructura y los servicios de equipamiento no sean suministrados o previstos de antemano.

El proyecto presentado en este artículo consiste en la construcción de un parque para niños, cuyo objetivo es el de materializar una reivindicación urbana a partir del involucramiento y participación activa de los pobladores del lugar. Se buscó transformar un espacio degradado, caracterizado por la inseguridad, la contaminación visual y ambiental, y convertirlo en un lugar de oportunidad, digno y para el disfrute de todos.

Se trata, en última instancia, de alentar la planificación formal de la ciudad, llevando a cabo un proyecto con un enfoque integrador y participativo para alcanzar una mayor sostenibilidad en el desarrollo urbano.

El parque se ubica en el asentamiento humano Santa Julia de la ciudad de Piura. Santa Julia está caracterizado por poseer un alto índice de delincuencia, criminalidad y micro-comercialización de drogas. Es una zona fragmentada donde el espacio público no se disfruta, sino que más bien se evita. Hacen falta espacios públicos y parques infantiles para la gran cantidad de niños en el sector que creció y sigue creciendo de manera informal.

Ahora bien, hay que señalar que los mismos vecinos han estimulado el proceso de mejoramiento de dicho parque.

En el proyecto se usa el concepto *placemaking* como nexo entre la sostenibilidad y la habitabilidad. Este *placemaking* proporciona acciones y resultados concretos que fomentan objetivos de sostenibilidad más amplios, como el crecimiento inteligente, la accesibilidad a pie y en bicicleta, el transporte público o el espacio urbano pertinente.

## MARCO TEÓRICO

Una ciudad debe ser planificada para la gente que vive en ella y debe ser capaz de responder a las necesidades y deseos de sus habitantes. El arquitecto Jan Gehl critica, en este marco, el descuido de la dimensión humana en la planificación de las ciudades. Tanto las ciudades antiguas como las nuevas requieren redefinir los supuestos en los que se planifican y priorizan los proyectos, centrándose más en las necesidades de las personas (Gehl, 2011). En la práctica actual de muchas ciudades y municipios en todas partes del mundo, los propios habitantes están poco informados sobre los proyectos en el desarrollo urbano. Existe, de esta forma, una falta de integración y participación en la planificación actual.

El término "*placemaking*" (construir lugares) se entiende como una herramienta para la planificación, diseño y gestión de espacios públicos con un enfoque comunitario. Puede verse como una manera de transformar los no-lugares ("non-lieux") (Augé, 1995). Según Augé, un no-lugar es un lugar que uno ignora o evita, como aparcamientos, terminales de transporte, terrenos baldíos. No son lugares porque carecen carácter y no son atractivos para nadie.

En términos generales, esta perspectiva se refiere a la estrategia de un desarrollo económico de "crear lugares de calidad en los que las personas quieran vivir, trabajar, jugar y aprender" (Wyckoff, 2014:2). La científica de planificación británica Patsy Healey (1997) concibe el *placemaking* como un enfoque de la planificación territorial, basado en la búsqueda de la mejora de la calidad del espacio y la calidad de vida. La discusión sobre la comprensión del lugar no solo facilita el proceso de planificación, sino también "la idea del lugar tiene un rol para definir la identidad de grupos sociales y esta identidad colectiva debería contribuir a generar cohesión social" (de Magalhaes, Healey y Madanipour, 2002:53). El *placemaking* puede contribuir así a la formación de la identidad y la creación de cohesión social y, por ende, tener un efecto de estructuración social. Más que simplemente promover un mejor diseño urbano, facilita los patrones creativos de uso, prestando especial atención a las identidades físicas, culturales y sociales que definen un lugar. Se trata de mirar, escuchar y hacer preguntas a las personas que viven, trabajan y juegan en un espacio determinado, para descubrir sus necesidades y aspiraciones (Project for Public Spaces, 2018). En este contexto O'Rourke y Baldwin sugieren que *placemaking* se considera como un proceso que persigue "involucrar a las personas en la apariencia, la sensación y el

funcionamiento de sus espacios públicos para descubrir lo que quieren y esperan de un espacio" (2016:103).

Los inicios del concepto de *placemaking* se derivan de los trabajos sobre el lugar, donde Relph (1976) y Tuan (1977) establecen una categorización temática y basada en la experiencia, respectivamente, para explicar la "conexión" con un entorno existente. En un sentido de diseño urbano, el proceso (y el concepto) de *placemaking*, evolucionó a partir de las investigaciones de Whyte (1980) de las plazas públicas y su uso (o falta de ellas) en Nueva York.

Como herramienta, el *placemaking* ha evolucionado a lo largo del tiempo. Lo que comenzó como un proceso de activismo y protestas contra el desarrollo indomable en ciudades estadounidenses, ahora se ha convertido en un instrumento para unir comunidades y vecindarios que pone énfasis especial en el proceso, y no solo en el resultado final (Silberberg, 2018).

De esta manera, la participación ciudadana juega un rol muy importante. Involucrar a los grupos-objetivo representa una condición indispensable para el éxito y la sostenibilidad de proyectos y programas, y permite a la población local formar parte en las decisiones políticas, sociales y económicas. La trazabilidad de las decisiones aumenta la aceptación y, por lo tanto, la longevidad de los proyectos (Imparato y Ruster, 2003). Vaiou, además destaca que "la participación de este tipo, articulada en torno a las reconfiguraciones del espacio público, apunta a formas de ciudadanía (urbana) y subraya la necesidad de considerar las dinámicas de base expresadas en la participación, junto con su función de formación de espacio" (2018:190).

Esta perspectiva de transformación urbana se preocupa por proyectos *bottom-up* (de abajo hacia arriba), procesos de empoderamiento y apropiación de los ciudadanos que busca que ellos sean partícipes en la toma de decisiones de las intervenciones en los espacios públicos, considerándolos como los expertos de su entorno más próximo y como actores vitales para la generación de lugares, que faciliten el compromiso cívico y la interacción de la comunidad (Webb, 2013; Project for Public Spaces, 2016).

Las actividades muchas veces están lideradas por movimientos de colectivos o vecinos (Spataro, 2016), cuando los ciudadanos son acertados e intervienen en el tejido urbano, los gobiernos pueden llegar a ser considerados incapaces o indeseables. En este contexto, se puede decir que, si bien el *placemaking* se relaciona con las prácticas formales de planificación urbana, también lo hace con las prácticas informales como, por ejemplo, el urbanismo DIY ("hacerlo tú mismo") (Iveson, 2013), el urbanismo táctico (Lydon y Garcia, 2015) o el urbanismo cotidiano (Chase, Crawford y Kaliski, 1999). El urbanismo informal se caracteriza frecuentemente por prácticas espaciales a menor escala. En esta línea, Finn (2014: 381) señala que estas actividades son "soluciones a menudo innovadoras, sofisticadas y de bajo costo para problemas urbanos difíciles o no abordados". Diferentes grupos, pequeñas empresas, relaciones locales y materialidades, crean sinergia para producir

intervenciones dinámicas que respondan a las necesidades cambiantes de los pobladores del lugar. No obstante, las interacciones formales e informales de *placemaking* no son de ninguna manera exclusivas o perfectamente separables. Fabian y Samson (2016), entre otros, argumentan que los planificadores y los diseñadores urbanos han mostrado un interés creciente en el urbanismo DIY.

En conclusión, los diferentes actores producen espacios de su interacción social y contribuyen a dar forma al espacio público, mientras se crea una ciudadanía urbana (Vaiou, 2018). Los beneficios de emplear adecuadamente esta metodología conllevan a la generación de impactos positivos en el entorno urbano, pues un lugar exitoso promueve la comodidad, la salud y el bienestar en las personas, potencia la accesibilidad, fortalece la vida comunitaria y desarrolla la economía local (Karacor, 2014; Antonopoulou, Chondros y Koutsari, 2015; Project for Public Spaces, 2016). De este modo, se configura un espacio público pertinente al lugar y a su gente.

## DESARROLLO

### MÉTODOS

Utilizar la metodología *placemaking* resulta pertinente y coherente para enfrentar los desafíos actuales, las necesidades y las expectativas de la comunidad piurana de manera que contribuya a construir un espacio público activo, con identidad y cohesión social. La experiencia que aquí se expone constó de distintas etapas progresivas, empezando desde un nivel macro de la ciudad hasta llegar al nivel micro. A partir de los primeros resultados, se desarrolló una visión a largo plazo y un conjunto de estrategias para alcanzarla.

Siguiendo el método de *placemaking*, se comienza a trabajar en diferentes sitios en la ciudad de Piura para mejorar el espacio público y la calidad de vida para la población. Se debe tener muy cuenta que el proceso no es estrictamente lineal. Sin embargo, como punto de partida, es imprescindible el contacto con la población.

Así, una de las primeras actividades realizadas consistió en definir quiénes participarían, cómo y cuándo. Otro factor importante fue recoger las opiniones de la población local, lo que sirve para entender y analizar las necesidades, falencias y deseos de la comunidad. Seguidamente, se desarrolló la fase de la propuesta, en la cual la gente también participó y trabajó para cumplir con los planes de desarrollo del proyecto definidos. Además, se realizó un plan de ejecución por etapas el cual contempla que, una vez construido el proyecto, se debe continuar trabajando con la evaluación y el seguimiento del mismo. Conservar estas líneas de continuidad permite la flexibilidad del proyecto para lograr mejoras a lo largo del tiempo, según los objetivos establecidos.

En el transcurso del trabajo en campo se han desarrollado diversas actividades y se ha trabajado de forma permanente con la comunidad del asentamiento humano Santa Julia.

Este asentamiento humano, pertenece al distrito Veintiséis de Octubre y está ubicado al extremo sur oeste de la ciudad de Piura, Perú (figura 1). La evolución de este sector se ha venido dando en tres etapas, las cuales se han establecido por las siguientes modalidades: ocupación informal, construcción, planificación y servicio. Dado su proceso de conformación, la zona no cuenta con actividades económicas promotoras del empleo, las actividades económicas que se registran, son de autoempleo y de pequeños negocios con bajos niveles de permanencia.

Piura a pesar de que es una de las regiones con mayor aporte al PBI nacional, tiene niveles de pobreza monetaria que alcanzan el 35%. Ciertamente, la zona de estudio se caracteriza por ser urbano marginal (Municipalidad Distrital Veintiséis de Octubre, 2016).

En términos de población no hay datos exactos. Según el Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI) se ha formalizado alrededor de 2,300 lotes. Tomando una aproximación de cinco miembros de familia que ocupa un lote, se suma una población alrededor de 12,000 habitantes. Alrededor del 30% tienen 14 años o menos y cerca de la mitad tiene menos de 25 años de edad. Solo menos del 10%, tienen 60 años y más (Municipalidad Distrital Veintiséis de Octubre, 2016). Según estas cifras, la población que habita la zona es bastante joven con una cantidad de niños por encima del promedio.

En varias visitas y convocatorias se realizó una labor continua con la población local y el equipo de la Junta Vecinal. En un primer taller participativo se trabajó en la búsqueda de respuestas a determinadas necesidades, a través de las siguientes preguntas: ¿Cuál es el uso actual del espacio público? ¿Quién está usando el espacio público? ¿Existen problemas / conflictos? En coordinación con grupos vecinales y la municipalidad se trató, entonces, la factibilidad de diferentes proyectos.

En la siguiente fase, se diseñó una visión de un espacio público de prioridad; el propósito fue que los vecinos definieran el uso, expresaran sus ideas para que el parque cumpliera sus necesidades y deseos. Desde ese enfoque, se programaron diferentes fechas para visitas, incluyendo talleres participativos, la presentación, la discusión de la propuesta y la ejecución del parque. El taller de diseño se realizó mediante la utilización de mapas y una maqueta participativa (Figura 2). Con la maqueta quedaron definido los límites para el diseño del parque y tres zonas de diferentes tamaños para juegos infantiles. A partir de ejemplos y buenas prácticas de otros sitios se discutieron diferentes opciones para el diseño del parque. Después del taller, se elaboró una primera propuesta la cual se mejoró en conjunto con los futuros usuarios.

El predio del área que está prevista como parque tiene una superficie total de 2.100 m<sup>2</sup>. El terreno limita a una calle que, al

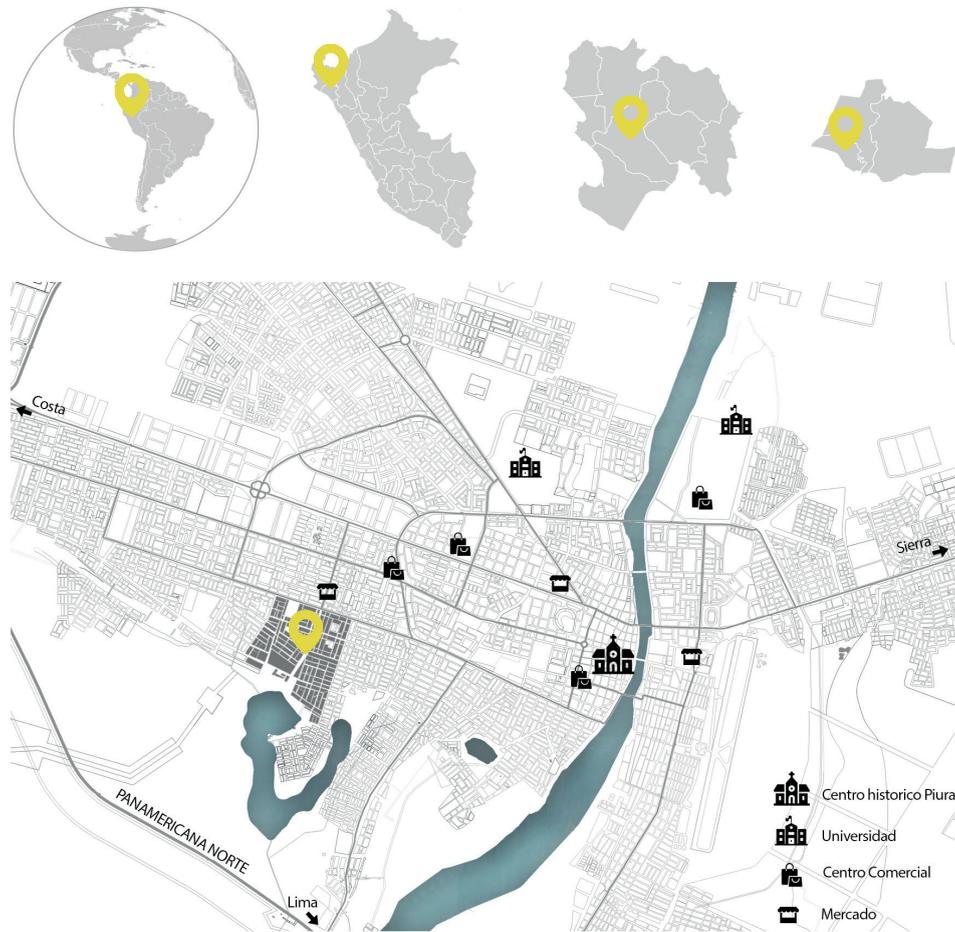


Figura 1. Ubicación del lugar de intervención. Fuente: Elaboración de las autoras.



Figura 2. Taller participativo junto con la población. Fuente: Fotografías de las autoras.

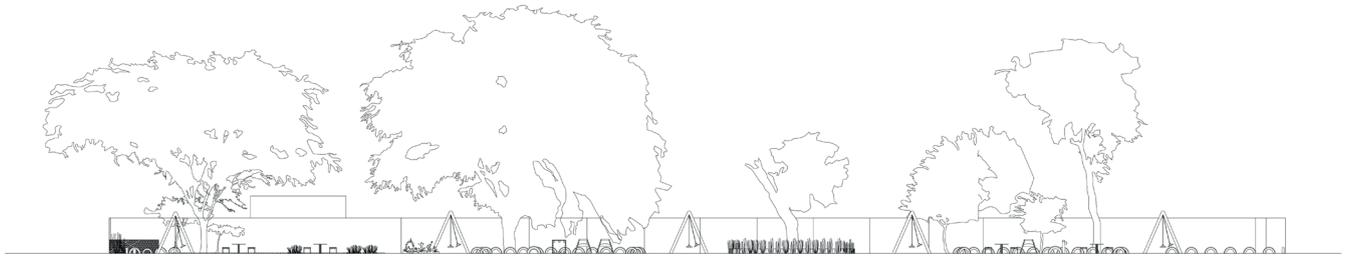


Figura 3. Corte longitudinal del Parque Santa Julia. Fuente: Elaboración de las autoras.

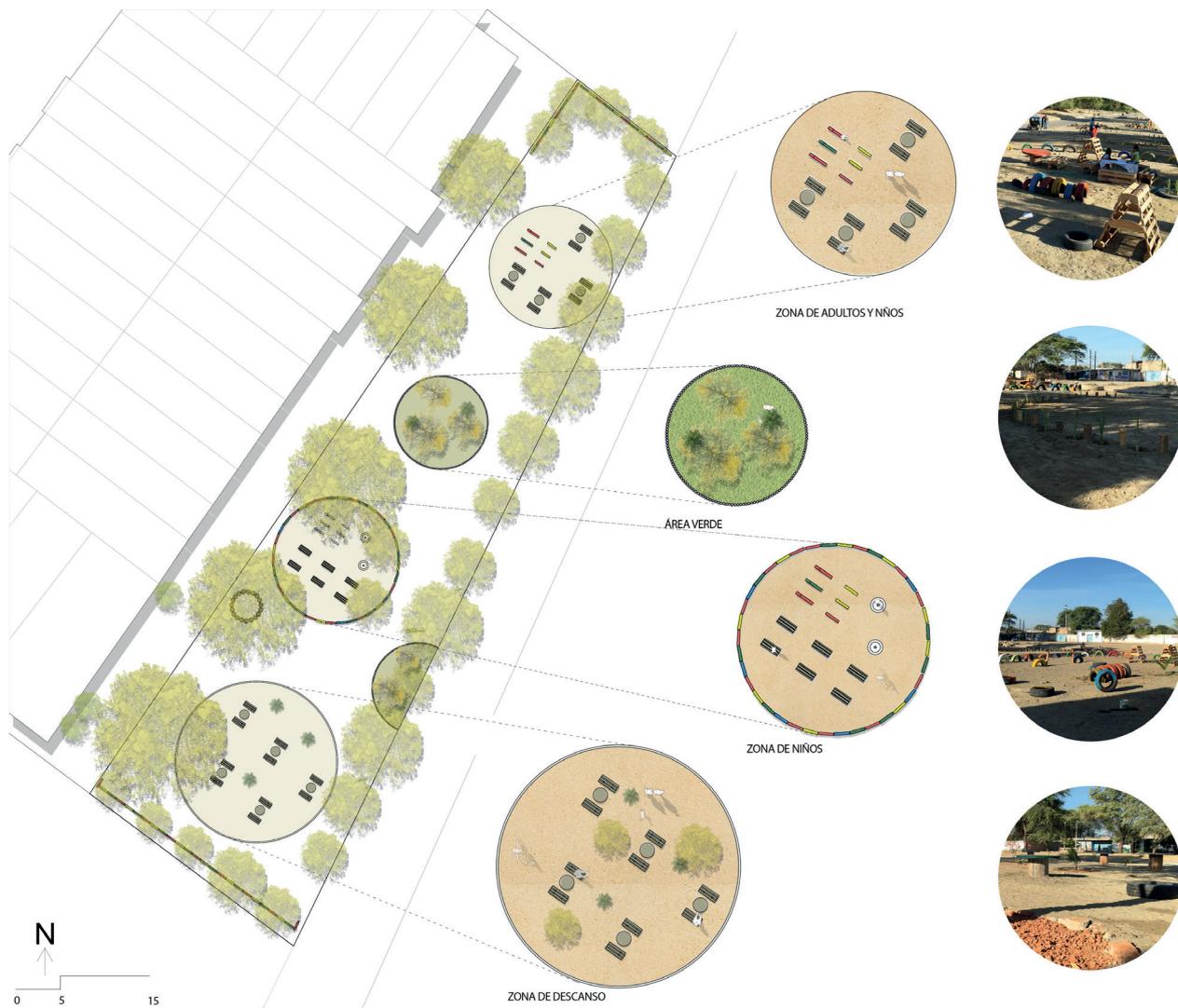


Figura 4. Plano del Parque Santa Julia, realizado a partir de los requerimientos de los vecinos. Fuente: Elaboración de las autoras.



Figura 5. Parte del proceso de ejecución del Parque Santa Julia. Fuente: Fotografías de las autoras.



Figura 6. Actividades realizadas el día de la Inauguración. Fuente: Fotografías de las autoras.

mismo tiempo, tiene función de dren y conecta el asentamiento humano con el centro de la ciudad. El costado occidental colinda con viviendas. Todos poseen un acceso directo al mismo. Sobre el terreno, la comunidad tiene el hábito de depositar la basura y los desperdicios de construcción del sector, generando malos olores y contaminación ambiental y visual.

El diseño arquitectónico se ha adaptado a la configuración topográfica actual del terreno. Se ha definido la ejecución de un parque principalmente para niños. Para acompañar las zonas con juegos infantiles, los vecinos establecieron zonas de descanso con bancas y mesas. Las áreas verdes sirven como zonas vacías con una vegetación adecuada al sector (Figura 3 y Figura 4).

Los objetivos para la ejecución del parque estaban relacionados con: el involucramiento de los habitantes en el proceso de toma de decisiones de diseño; el uso de materiales de bajo costo que hicieran factible la replicabilidad futura por los habitantes y la sostenibilidad de la intervención y la planificación de una acción posible de realizar dentro de corto plazo.

La primera actividad de la fase de ejecución, fue una limpieza general del lugar, luego se trabajó en la construcción de los juegos infantiles, del mobiliario y se sembró árboles y plantas. Este procedimiento comprendió 6 semanas de trabajo. En cuanto al criterio ambiental y material, el parque fue construido en gran parte con materiales reciclables y sostenibles como el bambú, palets y llantas en desuso. Los vecinos no solo contribuyeron con ellos sino también con su mano de obra.



Figura 7. Antes y después. Fuente: Fotografías de las autoras.

Para conseguir los materiales, organizaron varias actividades, como por ejemplo almuerzos colectivos. Algunos materiales como también las plantas fueron donados.

En todos los pasos se trabajó en conjunto con los vecinos y voluntarios (Figura 5). Como proyecto piloto, el parque ha sido inaugurado el 1 de julio de 2018 y debe funcionar como ejemplo para otros asentamientos humanos en la zona (Figura 6).

## RESULTADOS

El trabajo de *placemaking* continúa mucho después de que se haya instalado el proyecto inicial. Es por eso que la última etapa, consta del seguimiento progresivo, donde se realizan encuestas y diagnósticos con la intención de verificar el grado de aceptación de la propuesta, a partir de las cuales se ejecuten mejoras en el parque y con el objetivo de que se mantenga y aumente el grado de participación comunitaria.

En los trabajos con los vecinos, líderes y representantes de la Junta Vecinal se utilizaron diferentes herramientas, como charlas, redes sociales y talleres para sensibilizar a la población en temas de desarrollo urbano, la importancia del espacio público como también formas sencillas de recuperar los espacios. Las charlas informativas para la población han sido organizadas periódicamente y ofrecieron un espacio para presentar el concepto y la importancia del espacio público. Con las redes sociales, se puso a disposición una plataforma en línea. Se invitó a participar, se convocó a voluntarios y vecinos y se informó sobre los avances del proyecto. En los diferentes talleres

participativos se trabajó directamente con la población local para reconocer los deseos y necesidades locales. Se intentó involucrar a todos los vecinos para que se sientan identificados con el proyecto y al mismo tiempo, responsables de su mantenimiento. La Figura 7 muestra las fotografías antes y después de la intervención.

A través de esta intervención, los resultados se manifiestan desde que las personas se interesan por mejorar sus parques, ya que ayudan a crear conciencia a los demás vecinos sobre la importancia de los espacios públicos en la ciudad.

Los vecinos reportan un uso constante del parque, incluso de niños de otros asentamientos humanos y de colegios aledaños. Se logró una mejora de la vida pública en el sector. Las repercusiones han sido favorables e inmediatas, el día de la inauguración del parque, el Jefe de Policías del Equipo de Seguridad Ciudadana del distrito, le entregó un cuaderno de registro al representante de la comunidad, quien se comprometió a mantener una vigilancia diaria en el sector. Además, hubo un acercamiento por parte de la empresa prestadora del servicio público de electricidad, para instalar alumbrado en el parque.

Con el fin de hacer una declaración sobre el impacto de la intervención y la mejora de la calidad y la vida pública en el lugar, se realizó una encuesta con los usuarios del parque cuatro meses después de su inauguración. La recopilación de información se llevó a cabo *in situ* y ha sido dirigida directamente hacia los usuarios del parque. El diseño del contenido de la encuesta, ha considerado que el espacio cumpla con los criterios que considera Project for Public Spaces<sup>1</sup> (2015) para que un lugar sea exitoso: el

[1] Project for Public Spaces (PPS) es una organización estadounidense de planeamiento, diseño y organización educativa, sin fines de lucro, dedicada a ayudar a la gente a crear espacios públicos que fortalezcan comunidades.

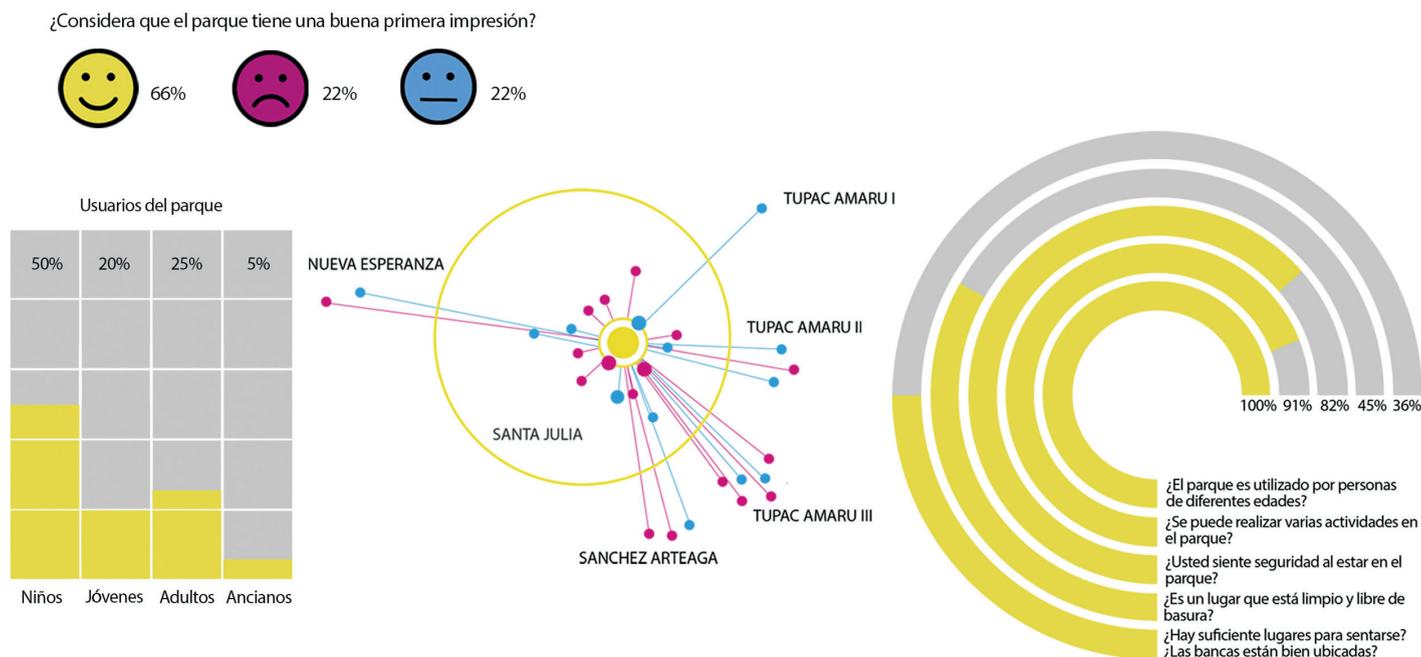


Figura 8. Resultados de encuestas realizada dos meses después de la inauguración. Fuente: Elaboración de las autoras.

encuentro, los usos o actividades, las conexiones, accesos, la comodidad y la imagen. En el caso de evaluar si el lugar actúa como un espacio de encuentro adecuado, se tuvo en cuenta si es un lugar interactivo, si es que existe un uso nocturno, si existe diversidad en los usuarios o si hay un sentido de identidad con el parque. Las preguntas del cuestionario también fueron enfocadas en el dinamismo y uso activo del espacio. La percepción de seguridad y limpieza han sido aspectos importantes en el criterio de comodidad e imagen. Participaron 30 usuarios y vecinos del parque, entre ellos el 40% fueron niños menores de 12 años.

Los resultados son generalmente positivos (Figura 8). El 66% de los encuestados consideran que el parque tiene una buena primera impresión. Solo el 22% no está satisfecho con el impacto visual del lugar. Esta percepción a través de la visión resulta trascendental para contribuir al valor del asentamiento humano y de la ciudad.

Generalmente el parque es utilizado por personas de diferentes edades y la mayoría confirma que el lugar ofrece la realización de varias actividades. El uso constante ha aumentado la seguridad y 82% de los usuarios entrevistados, dicen sentir dicha seguridad al estar en el parque.

Según los resultados, aún existe un déficit en la limpieza del lugar. Reciclar es un hábito poco incentivado en Piura, además de que la ubicación de los tachos existentes es deficiente, pues se encuentran escondidos de la vista de los usuarios. Asimismo, faltan lugares y bancas para sentarse. Los niños también reclaman mayor variedad de juegos.

Con respecto a evaluar la transformación de un espacio en un lugar vibrante con calidad, que forma una identidad; Project for Public Spaces (2016), ha identificado 11 puntos claves para guiarse. En este sentido, el proceso de la transformación del parque en Santa Julia ha seguido las 11 reglas del *placemaking*:

- 1\_ La comunidad es la experta: Durante todo el proceso se ha trabajado con la población a diferentes niveles de participación.
- 2\_ Se crea un lugar, no un diseño: Se ha creado un lugar para niños, donde pueden jugar y pasar su tiempo libre.
- 3\_ Es un trabajo en equipo: Los socios han aportado con más recursos, ideas innovadoras y nuevas fuentes de energía: la iniciativa colectiva FuturoPiura, la población, la Junta Vecinal Santa Julia y el Servicio de Seguridad Ciudadana.
- 4\_ En el proceso de la ejecución se ha tenido muchas dificultades, pero nunca se ha dicho "No se puede hacer".
- 5\_ La mejor manera de cambiar un vecindario es observar lo que funciona y lo que no funciona en ese lugar en particular: Se ha realizado un diagnóstico de la zona y talleres participativos, como mapeos colectivos.
- 6\_ Desarrollar una visión: Para que una visión comunitaria haga una diferencia, debe ser creada por las personas que viven allí.
- 7\_ La forma soporta la función.
- 8\_ Un gran lugar ofrece muchas cosas que hacer: Hay actividades para personas de distintas edades e intereses.

9\_Empezar con pequeñas cosas: Se ha empezado con una estructura básica del parque, que se puede mejorar en el futuro.

10\_El dinero no es el problema: Los vecinos han organizado actividades para recolectar fondos. Además, se ha trabajado con materiales económicos, de la zona y/o de reciclaje.

11\_Nunca se termina en mejorar un espacio: En conjunto con los vecinos se sigue asegurando el mantenimiento y seguimiento. Se requiere ampliar la oferta de juegos y crear más sombra para los meses de verano. Actualmente, se está buscando materiales para realizar el mejoramiento y se ha implementado una pérgola con la intención de ganar un poco más de sombra.

La Figura 9 muestra los resultados comparativos y actuales del proyecto, utilizando como base los criterios de evaluación del *placemaking*.

## CONCLUSIONES

Como resultado de un estudio a nivel macro hemos observado que los parques vecinales de Piura tienen problemas para cumplir con su propósito como espacios públicos, debido a la disociación entre las áreas verdes exigidas y construidas y las plazas esperadas. La mayoría de los vecinos pasan su tiempo libre en casa; según ellos, porque no hay lugares públicos adecuados

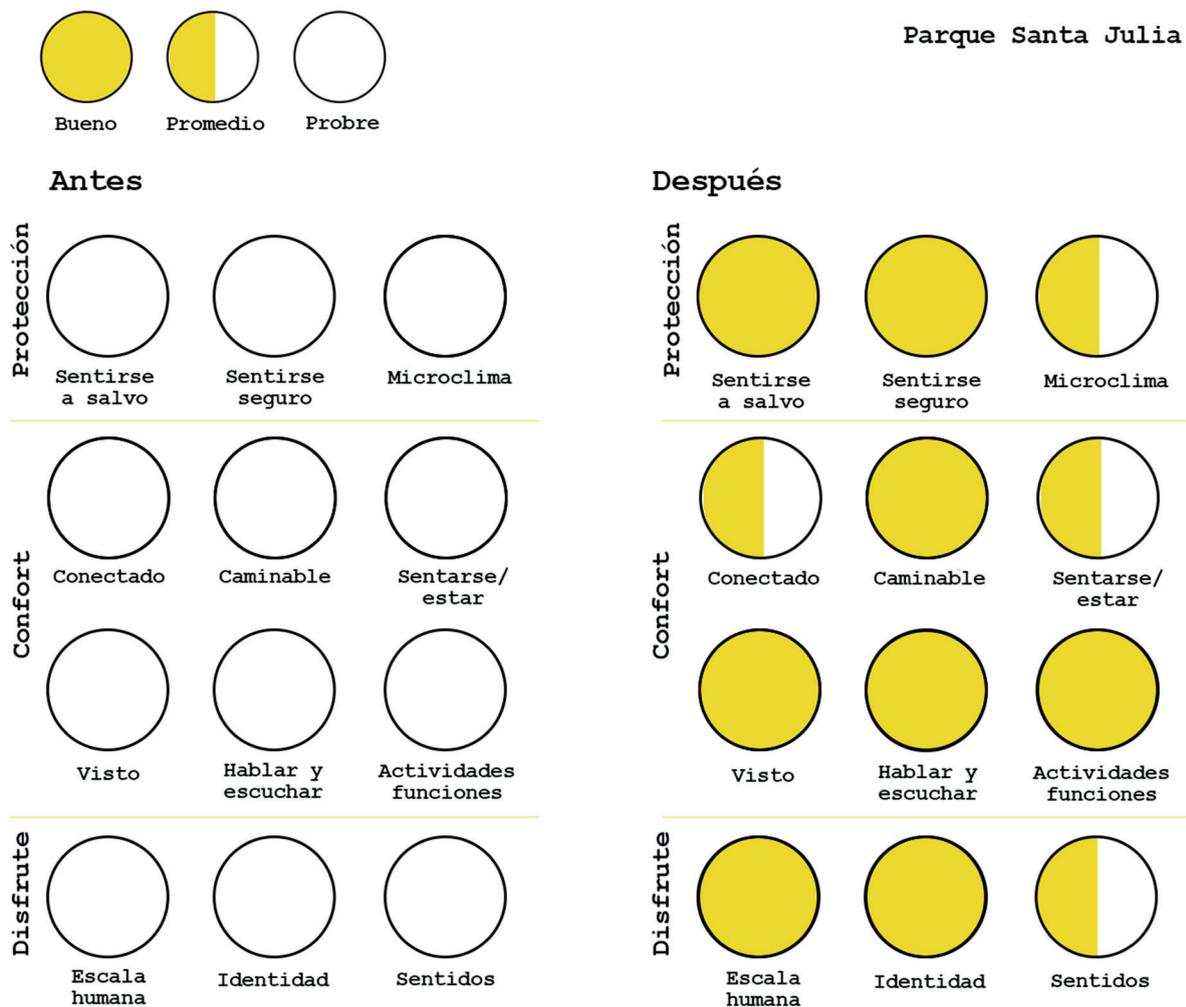


Figura 9. Resultado comparativo y actual del proyecto, utilizando como base los criterios de evaluación del *placemaking*. Fuente: Elaboración de las autoras.

y de calidad; sin embargo, el espacio público expresa las condiciones de la ciudad y juega un rol fundamental y transformador.

Así, a través de talleres participativos se trató de apoyar directamente en el diseño de parques vecinales de Piura. Se intentó lograr una participación en todos los niveles (informar, integrar e incluir) en todo el proceso, identificar usos y por medio del ejercicio de la inclusión, y lograr transformar un contexto específico de manera adecuada.

El proyecto implementó la metodología *placemaking* porque consideró que la manera más efectiva de mejorar la ciudad es incidir en la preocupación por reinventar los espacios públicos, convirtiéndolos en lugares a partir de los sueños y las necesidades de la comunidad. Siguiendo el pensamiento de Whyte (1980), se puede aprender mucho más observando y hablando con la gente para entender sus necesidades. Además, se tuvo en cuenta que el diseño no es lo más importante, sino un componente para llegar al fin último que es la creación del lugar. De esta forma, en el trabajo concreto se siguió algunos principios básicos que incluyen involucrar a todas las partes interesadas, utilizar métodos visuales y sencillos, evitar la formalización y ser dinámico con los métodos.

El proyecto, desde su perspectiva social, procuró establecer una relación de integración por medio de las diferentes actividades realizadas en el proceso. La intervención, ligada a la regeneración del espacio público, buscó conseguir una red interior que trabajara para establecer una cohesión social mayor, un sentimiento de identificación y responsabilidad y sienta los pilares para una posible conexión al exterior y un diálogo con la ciudad. Se trató de romper las barreras existentes entre la población misma y la ciudad. Al desarrollar una conciencia en las relaciones sociales del espacio público, se pensó en un proyecto dinámico, inacabado y transformable.

La participación de la comunidad ha sido un factor fundamental para el éxito del proyecto cuyo objetivo era alentar la planificación formal de la ciudad y promover el enfoque integrado y participativo para una mayor sostenibilidad, específicamente en el diseño del espacio público, con el enfoque involucrar la población en todas las fases del proyecto. En el espacio público, los vecinos que componen un barrio son los protagonistas del cambio. La participación ciudadana ha operado como eje fundamental; se recopiló el conocimiento de la gente sobre lugares, desafíos y oportunidades. Existe la opinión de que la mejor sostenibilidad de los proyectos se logra con una activa y adecuada participación e integración de la población en todas las etapas de la planificación urbana de su espacio, lo que propició una convivencia colectiva desde antes de la inauguración del parque. En este

marco, el *placemaking* está vinculado a una ciudadanía sostenible. Está impulsado por el proceso, para hacer realidad los lugares y su uso con el fin de promulgar el cambio. El *placemaking* se caracteriza por ser un trabajo continuo. Así se asegura la sostenibilidad con diferentes eventos o capacitaciones que se organiza también después de la ejecución del proyecto.

Crear lugares es un trabajo de todos. Los planificadores necesitan involucrar directamente a quienes residen en los vecindarios, y este compromiso significa establecer una relación moral que desde el principio reconoce el derecho de las personas a la ciudad. Este proyecto se diseñó tomando en cuenta las limitaciones con las que cuentan los pobladores y las familias de la periferia de Piura, además de su estrato socio-económico y el impacto social de la imagen del proyecto. Se empleó, cabe mencionar, algunos materiales predominantes de la zona como el bambú, como asimismo materiales reciclados que los propios vecinos pudieron conseguir. En un proceso continuo, los vecinos pueden mejorar su parque de forma autoconstructiva.

Finalmente, el parque ha demostrado un objetivo bastante importante en el debate sobre el espacio público: un lugar para todos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONOPOULOU, Elene; CHONDROS, Christos y KOUTSARI, Maria. Towards the production of design commons: A matter of scale and reconfiguration. *ARQ*, 2015, n° 91, pp. 54-63.

AUGÉ, Marc. *Non-Places: Introduction to an Anthropology of Supermodernity*. 1° ed. London, New York: Verso, 1995.

BANCO MUNDIAL. *Población urbana | Data* [en línea]. 2018. [Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.urb.totl>.

BORJA, Jordi y ZAIDA, Muixí. *El espacio público, ciudad y ciudadanía*. 2° ed. Barcelona: Electa España, 2003.

CELADE - DIVISIÓN DE POBLACIÓN DE LA CEPAL. *Estimaciones y proyecciones de población total, urbana y rural, y económicamente activa*. América Latina [en línea]. 2017. [Consultado 4 junio 2019]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/temas/proyecciones-demograficas/estimaciones-proyecciones-poblacion-total-urbana-rural-economicamente-activa>.

CHASE, John; CRAWFORD, Margaret y KALISKI, John. *Everyday urbanism*. 1° ed. New York: Monacelli Press, 1999.

DE MAGALHAES, Claudia; HEALEY, Patsy y MADANIPOUR, Ali. Assessing institutional capacity for city centre regeneration: Newcastle's Grainger Town. En: CARS, Goran et al. (eds.). *Urban Governance, Institutional Capacity and Social Milieux*. Aldershot: Ashgate, 2002, pp. 45-69.

FABIAN, Louise y SAMSON, Kristine. Claiming participation – a comparative analysis of DIY urbanism in Denmark. *Journal of Urbanism* [en línea], 2016, vol. 9, n.º 2, pp. 166-184. DOI: <https://doi.org/10.1080/17549175.2015.1056207>

FINN, Donovan. DIY urbanism: implications for cities. *Journal of Urbanism* [en línea], 2014, vol. 7, n.º 4, pp. 381-398. DOI: <https://doi.org/10.1080/17549175.2014.891149>

GEHL, Jan. *Life between buildings: Using public space*. 6.º ed. Washington: Island Press, 2011.

HEALEY, Patsy. *Collaborative planning: shaping places in fragmented societies*. 1.º ed. London: Palgrave, 1997.

IMPARATO, Ivo y RUSTER, Jeff. *Slum upgrading and Participation. Lessons from Latin America*. Washington D.C.: The World Bank, 2003.

IVESON, Kurt. Cities within the City: Do-It-Yourself Urbanism and the Right to the City. *International Journal of Urban and Regional Research* [en línea], 2013, vol. 37, n.º 3, pp. 941-956. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12053>

JACOBS, Jane. *Muerte y vida de las grandes ciudades*. 2.º ed. Madrid: Capitán Swing Libros, 1967.

KARACOR, Elif. PlaceMaking Approachment to Accomplish Social Sustainability. *European Journal of Sustainable Development* [en línea], 2014, vol. 3, n.º 4, pp. 253-262. <http://dx.doi.org/10.14207/ejsd.2014.v3n4p253>

LEFEBVRE, Henry. 1967. Le Droit à la ville. *L'Homme et la société* [en línea], 1967, vol. 6, pp. 29-35. DOI: [10.3917/pal.110.0039](https://doi.org/10.3917/pal.110.0039).

LOW, Setha. Transformaciones del espacio público en la Ciudad latinoamericana: cambios espaciales y prácticas sociales. *Bifurcaciones*, 2005, n.º 5, pp. 1-14.

LYDON, Mike y GARCIA, Anthony. *Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change*. 3.º ed. Washington D.C.: Island Press, 2015.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL VEINTISÉIS DE OCTUBRE. Plan de desarrollo concertado de distrito de Veintiséis de Octubre 2016-2021 [en línea]. 2016. [Consultado 26 junio 2019]. Disponible en: [http://www2.muni\\_piura.gob.pe/institucional/transparencia/pdc-2016-2021.pdf](http://www2.muni_piura.gob.pe/institucional/transparencia/pdc-2016-2021.pdf)

O'ROURKE, Vicky y BALDWIN, Claudia. Student engagement in placemaking at an Australian university campus. *Australian Planner* [en línea], 2016, vol. 53, n.º 2, pp. 103-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07293682.2015.1135810>

PROJECT FOR PUBLIC SPACES. *What Makes a Successful Place?* [en línea]. 2015. [Consultado 26 junio 2019]. Disponible en: <https://www.pps.org/article/grplacefeat>.

PROJECT FOR PUBLIC SPACES. *Placemaking: what If we built our cities around places?* [en línea]. 2016. [Consultado 26 junio 2019]. Disponible en: <http://www.pps.org/wp-content/uploads/2016/10/Oct-2016-placemaking-booklet.pdf>.

PROJECT FOR PUBLIC SPACES. *How to Turn a Place Around. A Placemaking handbook*. 1.º ed. New York: Project for Public Spaces Inc., 2018.

RELPH, Edward. *Place and placelessness*. 1.º ed. London: Pion, 1976.

SCHROEDER, Stella. *Piura al 2032. Una visión urbana de los ciudadanos de Piura para Piura*. 1.º ed. Piura: Universidad de Piura, [sin fecha].

SILBERBERG, Susana. *Places in the Making: How placemaking builds places and communities* [en línea]. Department of Urban Studies and Planning (DUSP), MIT, 2018. [Consultado 26 junio 2019]. Disponible en: <http://dusp.mit.edu/cdd/project/placemaking>.

SPATARO, David. Against a de-politicized DIY urbanism: Food Not Bombs and the struggle over public space. *Journal of Urbanism* [en línea], 2016, vol. 9, n.º 2, pp. 185-201. DOI: <https://doi.org/10.1080/17549175.2015.1056208>

TUAN, Yy-fu. *Space and place: the perspective of experience*. 8.º ed. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1977.

VAIOU, Dina. Rethinking participation: lessons from a municipal market in Athens. *Journal of Place Management and Development* [en línea], 2018, vol. 11, n.º 2, pp. 181-191. DOI: <https://doi.org/10.1108/JPM-06-2017-0055>.

WEBB, Debra. Placemaking and social equity: Expanding the framework of creative placemaking. *Artivate: A Journal of Entrepreneurship in the Arts*, 2013, vol. 3, n° 1, pp. 35-48.

WHYTE, William. *The social life of small urban spaces*. 6 ed. Washington D.C.: Conservation Foundation, 1980.

WYCKOFF, Mark. Definition of Placemaking: Four Different Types. *Planning & Zoning News*, 2014, vol. 32, n° 3, pp. 1-10.





Recibido 24/06/2019  
Aceptado 28/06/2019

# PROPUESTA DE HUMEDALES ARTIFICIALES, IMPULSORES DE BIODIVERSIDAD, QUE DEPURAN AGUAS CONTAMINADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE LAGUNAS URBANAS DE CONCEPCIÓN

A PROPOSAL FOR ARTIFICIAL WETLANDS, BIODIVERSITY DRIVERS  
THAT PURIFY POLLUTED WATERS FOR THE RECOVERY OF URBAN  
LAKES IN CONCEPCIÓN, CHILE

PEDRO EULOGIO CISTERNA-OSORIO

Doctor

Docente Dpto Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío  
Concepción, Chile

<https://orcid.org/0000-0003-0460-5640>  
pcisterna@ubiobio.cl

LEONEL PÉREZ BUSTAMANTE

Doctor en Urbanismo

Decano Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Investigador y docente, Centro CEDEUS,  
Concepción, Chile

<https://orcid.org/0000-0001-6661-6260>  
leperez@udec.cl

## RESUMEN

Concepción posee cinco lagunas urbanas que cumplen diversos servicios ambientales (recreación, eventuales suministros de agua para fines variados, estanques de acumulación de aguas lluvias) pero muy particularmente constituyen espacios de biodiversidad, y es ahí donde radica su aporte sustancial y singular para la ciudad.

El objetivo de la investigación aquí presentada es demostrar cómo a partir del diseño y el uso de humedales artificiales, como tecnologías de tratamiento a las aguas que ingresan a las lagunas urbanas de Concepción, se genera un mejoramiento ambiental de estas lagunas y un incremento de la biodiversidad en el entorno. El análisis del cuerpo de agua se basa principalmente en un análisis planimétrico, a través de la observación y el registro fotográfico, y en un estudio de los indicadores de calidad fisicoquímica -tales como nitrógeno total (NT) y fósforo (P)- y ambiental, que se evaluará con la presencia de macrófitas. Dentro de los principales aportes constatados, destaca que la instalación de los humedales artificiales antes de la entrada a la laguna disminuye considerablemente el poder contaminante de las aguas ingresantes y, con ello, la cadena de deterioro termina, mejorando el ecosistema urbano. De esta forma, la propuesta deviene un eficiente instrumento para aumentar la biodiversidad y la calidad de vida de las personas.

## Palabras clave

biodiversidad, lagunas urbanas, humedales artificiales

## ABSTRACT

In Concepción, Chile there are five urban lakes that provide different environmental services (recreation, occasional water supplies for various purposes, rainwater accumulation ponds), but very specifically they constitute biodiversity spaces and this is where their substantial and unique contribution lies for the city. The objective of the research presented here is to demonstrate how, based on the design and use of artificial wetlands as technologies to treat the waters entering Concepción's urban lakes, an environmental improvement is made to these lakes and the biodiversity of the surrounding environment increases. The analysis of the bodies of water was mainly based on a planimetric analysis, through observation and a photographic record, and a study of physicochemical quality indicators - such as total nitrogen (TN) and phosphorus (P) - and environmental quality, which was evaluated with the presence of macrophytes. Among the main contributions established, it is noteworthy to mention that the installation of artificial wetlands before lake entrances significantly reduces the polluting power of incoming waters and the chain of deterioration ends, thereby improving the urban ecosystem. In this way, the proposal becomes an efficient instrument to increase biodiversity and people's quality of life.

## Keywords

biodiversity, urban lakes, artificial wetlands

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Concepción posee un conjunto considerable de recursos hídricos, los ríos Biobío y Andalién, el estero Nonguén y 5 lagunas urbanas: Tres Pascualas, Lo Galindo, Lo Méndez, Redonda y lo Custodio.

En cuanto a sus profundidades la Laguna Redonda es la que presenta una mayor profundidad, alcanzando los 19 metros en su nivel máximo, y la Laguna Lo Custodio es la de menor magnitud, con una altura de la columna de agua del orden de 1 metro.

Los lagos urbanos difieren mucho en su tamaño, profundidad, relación área drenada respecto a la superficie del espejo de agua, balance hídrico, ciclo de nutrientes, estado trófico, de los grandes lagos localizados en zonas rurales; sin embargo, en general, han recibido poca atención en los estudios limnológicos (García-Gil y Camacho, 2001). Ya sean de origen natural o contruidos por el hombre, son mayormente manejados para recreación, suministro de agua para riego u otro uso directo, con el consecuente control de nutrientes (Schurler y Simpson, 2001). Los lagos urbanos son ambientes acuáticos muy importantes para las grandes ciudades, ya que representan significativos lugares de esparcimiento para sus habitantes por lo cual son visitados frecuentemente por un gran número de personas (Schurler y Simpson, 2003). A menudo, presentan un estado hipereutrófico (Birch y McCaskie, 1999). Desde la antigüedad los lagos urbanos fueron utilizados para almacenar aguas lluvias, garantizando el suministro a la población y mejorando la calidad de vida los habitantes, lo que cambió en el siglo XX puesto que fueron contaminados debido a una mala gestión e intervención de los seres humanos (Naselli-Flores, 2008). Diversos investigadores constataron que este proceso de degradación se agravó con el cambio climático: el aumento de la temperatura y el cambio en el patrón de precipitación aceleran la eutrofización. Esta situación exige, ciertamente, la adaptación al cambio climático en la conservación y gestión de los lagos (Lu *et al.*, 2018). Otro estudio sostiene que en Concepción la temperatura media anual aumentará de los 13,0°C actuales hasta 15,6°C en 2080, y la radiación global horizontal lo hará de 355 a 366 W/m<sup>2</sup> (Rubio-Bellido, Pulido y Ureta, 2015), lo que refuerza la necesidad de implementar medidas concretas en este sentido, tales como el tratamiento a las aguas ingresantes.

Estos sistemas regulan el clima urbano, poseen elementos vivos y no vivos con interacciones entre sí, que los hacen ecosistemas sostenibles; su biodiversidad es un importante elemento paisajístico en las ciudades y constituye, desde luego, un hábitat para una variedad de especies de flora y fauna (Robitu *et al.*, 2006). A pesar de los altos niveles de nutrientes y otros contaminantes, poseen mecanismos que resisten el deterioro de la calidad del agua, ya que vinculan la producción por fotosíntesis y descomposición de los contaminantes, y dada su dinámica, evolucionan lentamente con el tiempo y el clima (Martínez *et al.*, 2008).

Laguna	Área (m <sup>2</sup> )
Lo Galindo	39.000
Lo Méndez	52.000
Redonda	40.000
Lo Custodio	3800
Las Tres Pascualas	59000

Tabla 1. Cuerpos lacustres en Concepción. Fuente: Elaboración del autor

La abundancia específica algal depende de las condiciones ambientales que influyen sobre el crecimiento y desarrollo de distintas especies y sus variaciones estacionales (Raghavendra *et al.*, 2015).

La comunidad científica ha incrementado la preocupación por estos ecosistemas y compartido el saber, de modo tal que se traduzca en políticas locales, nacionales e internacionales, orientadas a protegerlos y conservarlos (Oertli *et al.*, 2009). La Convención por la Biodiversidad, sostiene, en esa línea, que es imprescindible “tomar acciones efectivas y urgentes para detener la pérdida de biodiversidad y asegurar que el 2020 los ecosistemas sean resilientes y continúen proporcionando servicios esenciales” (Faith, 2011). Ya que la mayoría de estos sistemas hídricos son de tamaño reducido, en ellos se pueden aplicar estudios a escala sobre la dinámica de otros cuerpos de agua de mayor tamaño (Labounty, 1995). Las lagunas se encuentran entre los hábitats urbanos menos estudiados (Gledhill y James, 2012), sus servicios ecosistémicos tienen un impacto sustancial en la calidad de vida en zonas urbanas y deben abordarse en la planificación del uso del suelo ya que proporcionan beneficios con valor recreacional y cultural (Bolund y Hunhammar, 1999).

En la ciudad, los parques juegan un papel esencial en la conservación de la biodiversidad del ecosistema urbano, actuando como islas dentro de la matriz urbana. Un parámetro de biodiversidad es precisamente el porcentaje de superficie con cobertura de agua dentro de un parque que, incorporando un hábitat singular, servirá de hogar a numerosas especies. Considerado como un indicador de funcionalidad ambiental, este parámetro confirma que la existencia del recurso agua es un atributo ambiental relevante (Hernández, 2009).

Uno de los principales usos del suelo que transforman el ambiente de forma drástica e irreversible es la construcción de ciudades. La urbanización modifica la mayoría de los componentes de la cuenca hidrográfica de los ecosistemas acuáticos, alterando especialmente su hidrología, calidad del agua, calidad del hábitat físico, conectividad hidrológica, procesos ecológicos y la biodiversidad (Hughes *et al.*, 2014). Uno de los fenómenos del desarrollo

urbano es que genera una fase inicial de movilización de sedimentos, causada por una mayor producción de estos sedimentos (del orden de 2 a 10 veces) (Chin, 2006) y, por consecuencia, se impactan los cuerpos lacustres existentes dentro de los límites de la ciudad.

Las cuencas hídricas de los lagos urbanos corresponden a territorio ocupado por la ciudad, de manera que el agua ingresante es un portador de los problemas de contaminación de la misma, que transporta sedimentos y afecta a la columna de agua, lo que aumenta su vulnerabilidad (Birch y McCaskie, 1999). La calidad del agua se ve afectada principalmente a través de la acumulación de nutrientes y otros contaminantes, por lo que en su mayoría se encuentran eutrofizados. En efecto, los parámetros indicadores biológicos y fisicoquímicos evidencian que los lagos mesotróficos derivan a eutróficos (Figura 1) como consecuencia de la actividad antropogénica en su zona de captación, la cual acelera la tasa de eutrofización (Verma *et al.*, 2011).

Como resultado de la creciente urbanización, muchas especies ecológicamente sensibles, especialmente aquellas que dependen de hábitats particulares, experimentan pérdida y degradación del hábitat, lo que conduce a disminuciones de la población y extinciones locales (Shochat *et al.*, 2010). Mientras tanto, el aumento en el número de especies que pueden adaptarse al entorno urbano ha llevado a la homogeneización de dichas especies (McKinney, 2006). A medida que se intensifica la urbanización, las aves que viven en ecosistemas húmedos (Figura 2) enfrentan enormes desafíos ambientales (McKinney, 2015).

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

En concreto, esta investigación se plantea desde una perspectiva integral, esto es, una que busca una ciudad sustentable y que potencia la biodiversidad, vinculando en el análisis y la síntesis en torno a un recurso natural amenazado, las lagunas de Concepción, así como también el conocimiento tecnológico del tratamiento de las aguas contaminadas, con el fin de recuperar estos cuerpos de agua urbanos y de aportar así a la gestión sustentable de la ciudad de Concepción.

Para el estudio y el diagnóstico del estado de las lagunas, en este trabajo se realizó un análisis bibliográfico que profundizó en los avances técnicos en el tratamiento de las aguas contaminadas; integrando asimismo el método de la observación y, como instrumento de registro, la fotografía. La hipótesis que se plantea es que, con la instalación previa de sistemas de tratamiento de aguas residuales, humedales de flujo sub-superficial, se recuperará la calidad ambiental de estas lagunas, espacios ambientales amenazados, y se logrará que estos cuerpos de agua urbanos sean sustentables y potencien la biodiversidad.



Figura 1. Eutrofización en Laguna Lo Custodio (2019), con urbanización muy cercana. Fuente: Fotografía de P. Cisterna.



Figura 2. Garza en Laguna Lo Custodio (2019), que desafía la condición ambiental. Fuente: Fotografía de P. Cisterna.

De este modo, se propone aplicar tecnologías de tratamiento a las aguas que ingresan a las lagunas urbanas de Concepción, con el objetivo de analizar si el proceso aplicado es sustentable y si provocará un mejoramiento ambiental de las lagunas y un incremento de la biodiversidad en el entorno.

El diseño metodológico considera además la evolución que han tenido ambas componentes y su complementariedad. El análisis del cuerpo de agua se basa fundamentalmente en un análisis planimétrico, observación y registro fotográfico, y en los indicadores de calidad fisicoquímica, tales como nitrógeno total (NT) y fósforo (P), y ambiental, que se medirá con la presencia de macrófitas. El análisis de la dimensión tecnológica se refiere al tipo de tratamiento, a sus parámetros de diseño, al tiempo de residencia hidráulico y a las eficiencias de remoción de contaminantes esperadas de DQO, NT, P, y al crecimiento de las plantas.

## DESARROLLO

### ESTADO DE LAS LAGUNAS DE CONCEPCIÓN

Las lagunas de Concepción estuvieron olvidadas, quedaron atrapadas por un tejido urbano marginal y espontáneo que nunca reconoció su presencia, sus hermosas cualidades. El mayor daño se dio producto de haber sido sometidas al vaciamiento de las aguas servidas de las viviendas que las rodeaban, que al no contar con una urbanización adecuada ni con una planificación que permitiera la recuperación de sus bordes para las personas, provocaron un efecto muy negativo para su sustentabilidad (Ramos, 2002; Parra, 2009), originado por un intensivo crecimiento urbano, basado en las edificaciones.

Las urbanizaciones principales en Concepción se caracterizan por tener una fuerte presencia de humedales con una cercanía evidente (Valdovinos, 2006). Además, en las comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano, Chiguayante y San Pedro de la Paz se constata que el surgimiento de zonas urbanas con presencia de elementos naturales es mayor, pues se persigue así mejorar la calidad de vida de los habitantes (Rojas, Muñoz y García, 2009).

Por tanto, las cuencas de las distintas lagunas urbanas de Concepción se han ido modificando sustancialmente, dado el progresivo cambio en los usos y coberturas del suelo. Estas modificaciones incluyen el desarrollo de actividades contaminantes, producto del crecimiento urbano, lo que, sumado a las intervenciones efectuadas en los límites de los cuerpos lacustres, han provocado la desaparición de la diversa vegetación que las circunda; área que, generalmente, se ha sustituido con césped y otras estabilizaciones artificiales. Estos cuerpos lacustres han recibido descargas de aguas lluvia de la ciudad y, como ya se ha mencionado, eventualmente de aguas servidas. Lo anterior se ha traducido en una disminución de la biodiversidad, del valor estético y recreativo de estos cuerpos de agua, restringiendo las alternativas de uso y limitando las actividades que los ciudadanos pueden hacer en el entorno y al interior de ellos. En el caso de las lagunas urbanas de Concepción, se ha realizado un seguimiento y monitoreo de los parámetros relevantes que nos informan del estado de situación de 5 lagunas de esta ciudad.

De acuerdo a los resultados (Tabla 2), se puede concluir que estos cuerpos de agua se encuentran en condiciones eutróficas a hipereutróficas. Por consiguiente, la sustentabilidad de las lagunas de Concepción, está en una condición de riesgo, lo que debe ser revertido ya que estas generan entornos de biodiversidad y son de gran interés desde una perspectiva económica, estética, ambiental y ecológica.

T	Laguna Redonda	Laguna Lo Méndez	Laguna Lo Galindo	Laguna Lo Custodio	Laguna Tres Pascualas
Nitrógeno (µg/L)	306 -500	420 - 1.720	1560 -13630	380 - 600	1.060 - 2.590
Fósforo (µg/L)	20 - 30	40 - 100	90 - 700	50 - 120	40 - 150
Clorofila a (µg/L)	7,12 - 9,63	5,44 - 66,08	17,79 - 606,91	1,9 - 2,78	2,5 - 42,68
Transparencia (m)	1,23 - 4,0	1,0 - 6,3	1,2 - 3,0	0,3 - 0,9	1,03 - 1,93

Tabla 2. Calidad de agua cuerpos lacustres en Concepción. Fuente: Baeza, 2011, pp 11

A pesar del contexto planteado, igualmente estas lagunas han sido parte de la historia de Concepción y están en la memoria ciudadana de sus habitantes: con el paso del tiempo ha ido creciendo la preocupación por ellas y se ha manifestado el interés por recuperarlas.

Ya en el plan regulador de 1960 se destacaban, en el diagnóstico, una serie de singularidades, que identificaban a Concepción: el valor del paisaje natural configurado por el Río Biobío y varias lagunas que en ese momento no presentaban los niveles de contaminación actuales. Se hablaba de una nueva imagen de ciudad, se destacaba la idea de estructurar un sistema de parques conectado por vías lentas y arboladas que articularían las áreas verdes y libres, existentes y potenciales. Dicho sistema de parques uniría al Parque Ecuador con la Universidad de Concepción y, a través de la calle Janequeo, con la laguna Las Tres Pascualas (Muñoz, 1995). La intervención en el sistema de espacios verdes es, efectivamente, una de las más factibles de materializar, ya que puede realizarse tanto en urbanizaciones existentes como en asentamientos nuevos, procurando de manera sencilla y relativamente rápida el mejoramiento en las condiciones de vida de sus habitantes (Kurbán, 2017), pero requiere gestores políticos comprometidos.

Atendiendo y complementando lo anterior, es prioritario que los planificadores y diseñadores urbanos valoren y rescaten los importantes elementos del urbanismo azul, ese nuevo concepto de la planificación urbana y territorial que estudia y maneja los cuerpos de agua urbanos de manera independiente, sin supeditarlos a otras estructuras urbanas, como la infraestructura verde, sino que los plantea como autónomos, realzando su importancia para beneficio de las urbes, proporcionada por su gran potencial estético, cultural, psicológico, educativo, espiritual, ecológico, ambiental, biológico y geoquímico (Molina y Rubio, 2016). De hecho, la voluntad comunitaria de rescatar estas lagunas, en su más amplia dimensión, ha estado siempre presente, pero las medidas concretas de conservación y recuperación han estado ausentes: eso explica su actual estado de eutrofización y de carga orgánica.

En un experimento realizado en el lago Dugie, ubicado en Olsztyn, Polonia, en la década de 1950 y 1960, este fue utilizado como colector de aguas residuales domésticas y de tormenta, lo cual lo condujo a su completa degradación. El lago fue restaurado, luego, con métodos de aireación artificial e inactivación de fósforo. Antes de la restauración, la concentración promedio de fósforo orgánico en la capa de agua superficial ascendía a 0.166 mg/l P-org y la de nitrógeno orgánico, a 3.0 mg N-org/l. Después de la restauración, estos valores disminuyeron a 0.058 mg/l P-orgánico y 2.0 mg/l de N-orgánico (Grochowska, Brzozowska y Parszuto, 2014). La alternativa más idónea y eficaz para enfrentar el problema de eutrofización en cuerpos de agua son las que están enfocadas en la remoción neta de nutrientes, única forma



Figura 3. Laguna Lo Galindo (2019), humedal natural en crecimiento incontrolado de espadañas y otras especies. Fuente: Fotografía de P. Cisterna.



Figura 4. Humedal de flujo subsuperficial con crecimiento controlado y acotado de espadañas. Fuente: Elaboración de los autores.

de generar una recuperación permanente de un cuerpo de agua. También se plantea regenerar la capacidad de los humedales adyacentes a los cuerpos de agua, para retener y amortiguar los ingresos difusos (Figura 3). La reconstitución de la macrófita arraigada es un factor clave para producir estados claros permanentes en las lagunas pampeanas, y una de las maneras más adecuadas de controlar la carga interna de nutrientes en el sedimento a través de la cosecha equilibrada de dichas macrófitas (Elisio, 2017).

En los casos que no se cuenta con humedales naturales se debe recurrir a humedales artificiales (Figura 4), como hábitat de macrófitas, los cuales desempeñan un papel importante en la alimentación, la reproducción y la vida de las aves, más aún cuando la expansión urbana se ha apoderado de los humedales en las últimas décadas, lo que ejerce una presión enorme sobre estos ecosistemas y, por lo tanto, sobre las comunidades de aves (Mao et al., 2018). Las actividades humanas, especialmente la conversión y degradación de hábitats, están causando disminuciones en la biodiversidad global, pero medidas de mitigación efectivas pueden generar cambios favorables en la biodiversidad (Newbold et al., 2015).



Figura 5. Laguna sin medida de mitigación. Fuente: Elaboración de los autores.

## CONTAMINACIÓN DE LAS LAGUNAS

### SITUACIÓN SIN INTERVENCIÓN

La presencia de contaminantes, tales como materia orgánica -nutrientes en las aguas que ingresan a las lagunas-, es la que desencadena procesos bioquímicos como la eutrofización, originada por la presencia de nitrógeno y fósforo, o bien, la putrefacción, que ocurre cuando llegan cargas considerables de materia orgánica las cuales consumen el oxígeno, desencadenando inicialmente procesos aeróbicos y, una vez agotado el oxígeno, procesos anaeróbicos que liberan olores desagradables e impactan ambientalmente la zona del entorno (figura 5).

Balance de masa en laguna por cargas contaminantes que portan aguas ingresantes: (ecuación 1)

$$dM/dt = M1 - M2 - M_b \text{ (fotosíntesis) (1)}$$

M1: Flujo másico de aguas ingresantes a laguna

M2: Flujo másico de salida de la laguna

M<sub>b</sub>: Masa orgánica biodegradada/Masa de nutrientes capturada para proceso de fotosíntesis.

La materia orgánica biodegradada se transforma en CO<sup>2</sup> y, con los nutrientes que portan las aguas residuales, se desencadena la fotosíntesis que ocurre en el interior de la laguna, con la producción de materia vegetal. En cuanto a los nutrientes, sucede que los compuestos nitrogenados desaparecen, como tales, pero dan origen a biomasa vegetal que se acumula en la laguna, generándose lo que conocemos como “eutrofización”, crecimiento masivo de microalgas y de diversas especies de macrófitas y plantas acuáticas. Como se ve, esta dinámica es progresivamente contaminante y acumuladora de biomasa al interior de la laguna. Sin una apropiada intervención, esta situación consolida los procesos de pérdida de valor de estos cuerpos de agua urbanos, su estética paisajística, y limita sus servicios ambientales, afectando negativamente la calidad de vida de sus habitantes y, por supuesto, su condición ambiental (Figura 6).



Figura 6. Laguna Lo Custodio, sin intervención. Fuente: Elaboración de los autores.

### SITUACIÓN CON INTERVENCIÓN

En vista de lo anterior, la recuperación y protección ambiental de las masas de agua superficiales son de la mayor importancia, lo que abre ventanas para la investigación y generación de propuestas capaces de recuperar ecosistemas acuáticos que ahora están seriamente dañados, a causa de los niveles avanzados de eutrofización que presentan.

[1] Número de registro de patente: 503, INAPI, Chile, febrero 2018.

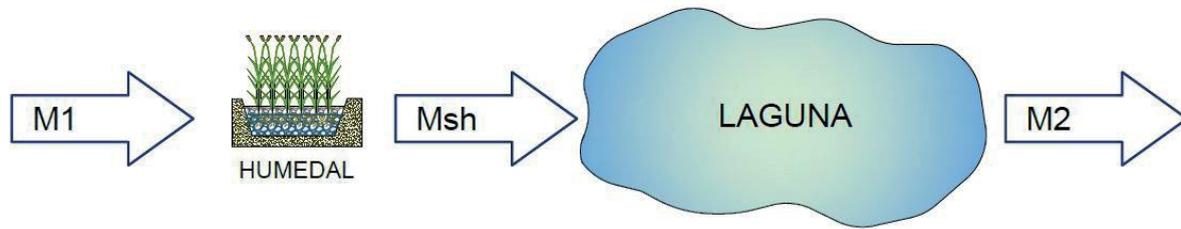


Figura 7. Intervención mediante humedal de flujo subsuperficial. Fuente: Elaboración de los autores.

Es pertinente, entonces, intervenir la dinámica de las lagunas y cortar la cadena de acumulación ascendente de biomasa que se va dando en ellas, para lo cual se requiere eliminar los contaminantes que ingresan a las mismas, mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales. Por otra parte, las tecnologías de tratamiento de aguas residuales y sus (Rodrigues, Borques-Martins y Zilio, 2018) mecanismos depuradores presentan mayor o menor aplicabilidad en determinados contextos territoriales. En el caso de las lagunas, la tecnología de humedales artificiales de alto rendimiento<sup>1</sup> (Cisterna *et al.*, 2019), que incluye un dispositivo de entrada y salida, resulta idónea para su protección y recuperación, además de constituir un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo de inversión, operación y mínimo consumo energético. Desde el punto de vista urbano-ambiental, este tratamiento da origen a una combinación laguna-humedal que es armónica paisajísticamente y potencia la biodiversidad. La presencia de este tipo de hábitat particulares (humedales, pastizales, terrenos boscosos), distribuidos en la matriz urbana, podría amortiguar los efectos nocivos de la urbanización en las aves (Rodrigues, Borg(Rodrigues, Borques-Martins y Zilio, 2018) es-Martins y Zilio, 2018) y otros seres vivos de manera que el humedal, además de tratar las aguas, genera un hábitat que debe considerarse desde la planificación urbana por sus efectos en la urbe (Mao 2018).

Específicamente, los humedales de flujo subsuperficial horizontal pueden alcanzar, gracias a la aplicación de este sistema, niveles significativos de reducción de la contaminación: 90% de DBO, 60-80% de Nitrógeno, 40-65% de fósforo (Crites y Tchobanoglous, 2000). Lo que condiciona los rendimientos es la referencia del parámetro a eliminar usado para el diseño. Ahora bien, en nuestra experiencia con humedales de alto rendimiento, se logra aquí un mayor nivel de remoción de nutrientes que en los humedales convencionales (Cisterna *et al.*, 2018).

La carga contaminante ingresante determina la magnitud del impacto en la laguna y sus alrededores, por ende,

estos sistemas deben ser instalados antes del ingreso de las aguas a las lagunas, con el objeto de disminuir considerablemente su poder contaminante y su impacto. Así, se logra trasladar la zona de eutrofización al humedal artificial (Figura 7), que en consecuencia es la zona de tratamiento previa y además, hábitat para seres vivos que le dan biodiversidad a la ciudad.

#### Balance en el humedal

$$dM/dt = M1 - Msh - M_b \text{ (fotosíntesis)}$$

M1: Flujo másico de entrada

Msh: Flujo másico de salida de humedal

$M_b$ : Masa capturada por proceso de fotosíntesis en humedal

En el humedal se estimula un proceso de eutrofización dirigido, que disminuye la carga orgánica y de nutrientes en las aguas, reduciendo ostensiblemente la carga contaminante que ingresa finalmente a la laguna.

#### Balance de masas en laguna

$$dM/dt = Msh - Ms2 + M_{c_L} \text{ (fotosíntesis)}$$

Msh: Flujo másico de entrada a la laguna/Flujo másico tratado en humedal

M2: Flujo másico de salida de laguna

$M_{c_L}$ : Masa capturada por proceso de fotosíntesis en laguna

Como Msh es de menor magnitud, ya que posee una carga contaminante menor (figura 7), se asume que es de una magnitud similar a Ms2 y, por tanto,  $dM/dt$  se aproxima a 0 de acuerdo al balance de masas, con lo cual se reduce ostensiblemente el proceso de eutrofización dentro de la laguna y en consecuencia  $M_{c_L}$ .  $M_{c_L}$

La Figura 8 evidencia la calidad de un agua tratada en un humedal artificial localizado en Canteras, comuna de Quilleco, y la calidad previa antes de ingresar al mismo; de esta manera, se proyecta y visualiza la diferencia entre las situaciones con y sin intervención.

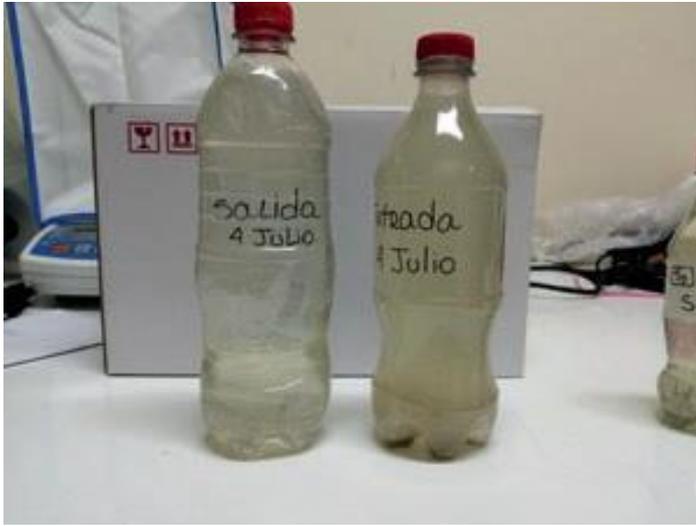


Figura 8. Muestras de agua de salida y entrada a humedal Canteras Quilleco (2019). Fuente: Fotografía de P. Cisterna.



Figura 11. Vista panorámica de la laguna Lo Custodio y entorno urbano. Fuente: Pedro Cisterna

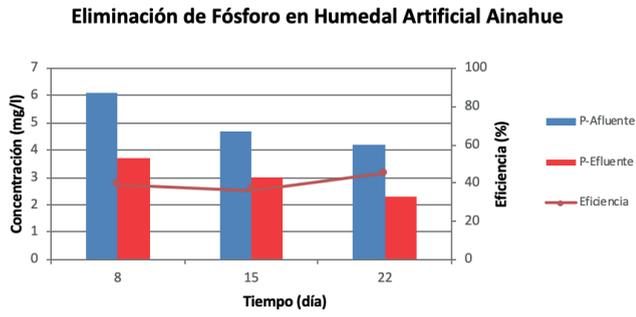


Figura 9. Remoción de nitrógeno total en humedal de flujo subsuperficial. Fuente: Elaborado por P. Cisterna.

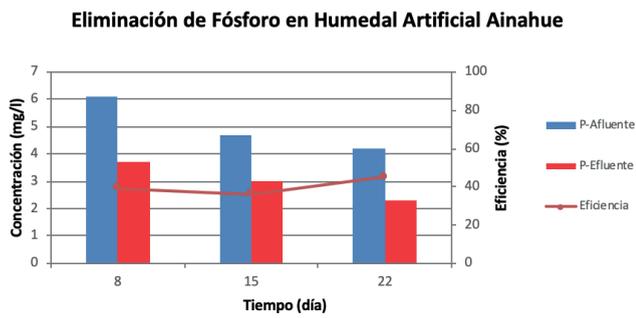


Figura 10. Remoción de nitrógeno total en humedal de flujo subsuperficial. Fuente: Elaboración de P. Cisterna.

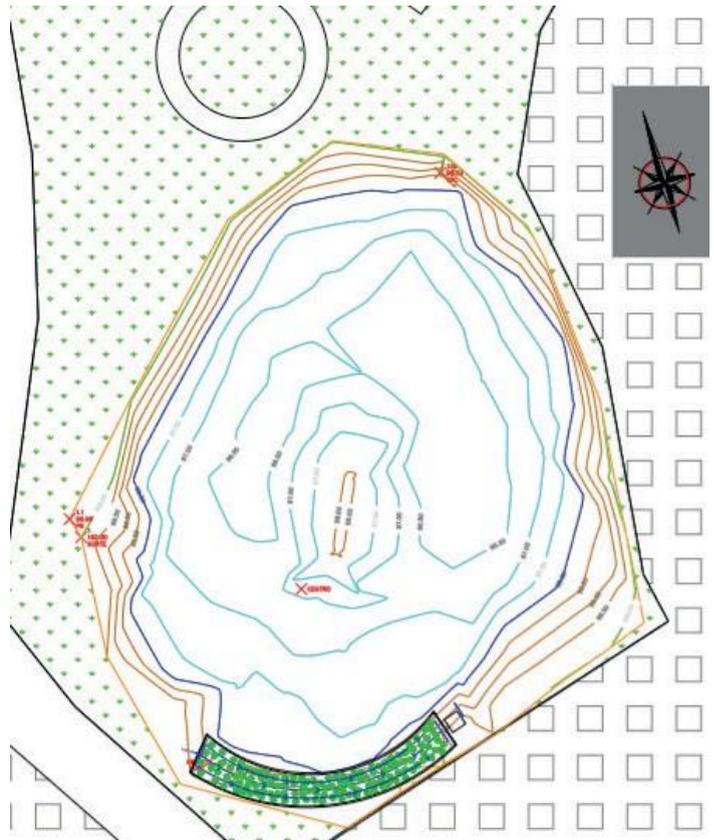


Figura 12. Plano de planta de laguna y humedal proyectado. Fuente: Autores



Figura 13. Vista proyectada de laguna con humedal incorporado. Fuente: Elaborado por P. Cisterna en base a Google Earth.

Por último, se expone la remoción de nitrógeno y fósforo en el humedal de flujo subsuperficial en Ainahue, Comuna de Hualqui, el que fue diseñado con el propósito de eliminar materia orgánica (DQO), para la que alcanzó una eficiencia por sobre el 90%; y, para la remoción de los nutrientes, logró una eficiencia del orden 40% que, no obstante, es capaz de optimizarse y llegar a un 70% (Figuras 9 y 10).

#### Ubicación de lagunas e instalación de humedales artificiales.

En la Figura 11 se muestra la ubicación de las lagunas urbanas en Concepción, que son las zonas donde se deben instalar humedales de flujo subsuperficial para la protección y conservación de las mismas.

#### Análisis de caso Laguna Lo Custodio: Propuesta de recuperación.

En aras de diseñar un humedal para esta laguna, se debió considerar el área tributaria de la misma y definir un criterio de dimensionamiento del humedal en función de eventos de pluviosidad de magnitud considerable. En esta región la pluviosidad máxima que se alcanza en el año es del orden de 1400 mm y los meses más lluviosos, de hasta los 300 mm, de manera que, para un día, se asumió una pluviosidad

de 50 mm, que representa una lluvia de gran magnitud. Para el dimensionamiento se considera que la primera media hora de este tipo de evento lluvioso, ya que el porta la carga contaminante que corresponde al periodo de lavado del suelo, las aguas posteriores son básicamente aguas lluvias con una carga contaminante despreciable las que serán by paseadas.

Por otra parte, se debió determinar el área tributaria de esta laguna que se estimó en 0.10 km<sup>2</sup>, es decir 100000 m<sup>2</sup>, asumiendo un factor de escorrentía de 0,55. Las aguas lluvias en esta condición crítica llegan a los 2750 m<sup>3</sup>/día, con un caudal horario de 110 m<sup>3</sup>/h (figura 12). Así, el volumen para media hora en condición crítica es de 55 m<sup>3</sup>. Dada la baja concentración de contaminantes en esta condición, se consideró un tiempo de residencia de dos días, que es considerablemente alto. Por tanto, el volumen calculado fue de 110 m<sup>3</sup>, cifra que supone un humedal de 35 metros de largo por 5 metros de ancho, y una profundidad de 0,6 m.

La instalación del humedal artificial da origen a una zona verde notoria y evidente que potenciará la biodiversidad y modificará el paisaje de este tradicional barrio de Concepción.

## CONCLUSIONES

Desde la práctica, la aplicación de avances tecnológicos como humedales de flujo subsuperficial para tratar las aguas ingresantes a los cuerpos de agua, resulta consistente y viable técnicamente en el caso específico de las lagunas urbanas de Concepción.

Los resultados obtenidos muestran que estos humedales artificiales son los que asumen el sacrificio de la contaminación de las aguas y liberan a las lagunas en una fracción importante de la contaminación que portan las aguas ingresantes.

También se observa que los humedales construidos son una solución dada por la naturaleza que hace posible controlar y acotar el crecimiento de las macrófitas hasta los límites de los cuerpos de agua.

Finalmente, la experiencia llevada a cabo permite concluir que la instalación de estos sistemas antes de la entrada a la laguna, disminuye considerablemente su poder contaminante y, con ello, la cadena de deterioro se quiebra, para mejorar el ecosistema urbano. Se trata, en definitiva, de un efectivo instrumento para aumentar la biodiversidad y la calidad de vida de las personas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Ingenieros Civiles, Claudio Garcia y Flavio Moncada de la Universidad del Bío-Bío por su colaboración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAEZA, Carolina. Importancia y uso de los sistemas lacustres de la VIII región, con énfasis en los sistemas urbanos del gran Concepción. Concepción: Universidad de Concepción, 2011.

BIRCH, Stephen y MCCASKIE, Janice. Shallow urban lakes: a challenge for lake management. *Hydrobiologia*, 1999, vol. 395, n° 396, pp. 365-377.

BOLUND, Pert y HUNHAMMAR, Sven. Ecosystem services in urban áreas. *Ecological Economics* 29, 1999, pp. 293-301.

CISTERNA, Pedro; BAEZA M; LAZCANO, Verónica; QUIJADA, Sergio y HENRÍQUEZ A, N. Increase removal nitrogen efficiency of a horizontal subsurface flow wetlands by means of innovating of the effluent capture and evacuation device. Thessaloniki, Grecia: Fifth International Conference on Small and Decentralized Water and Wastewater Treatment, 2018.

CISTERNA, Pedro; LAZCANO, Verónica; SILVA, Gisela; LLANOS, Mauricio y FUENTES, Ignacio. Innovative effluent capture and evacuation device that increases COD removal efficiency in subsurface flow wetlands. *Processes*, 2019, vol.7, n° 7, pp. 418.

CHIN, Anne. Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*, 2006, vol. 79, n° 3-4, pp. 460-487.

CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill, 2000.

ELISIO, Santiago; VALBUENA, Lisandro; BUFFONE Bárbara y ANDRINOLO Darío. El sistema renal hídrico: una herramienta para la recuperación de humedales pampeanos. En: IV Congreso Anual Científico y Tecnológico de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de Quilmes, 2017.

FAITH, Daniel. Higher-Level Targets for Ecosystem Services and Biodiversity Should Focus on Regional Capacity for Effective Trade-Offs. *Diversity*, 2011, vol. 3, pp. 1-7.

GARCÍA-GIL, Jesús y CAMACHO, Antonio. Anaerolimnología: Pequeña guía para el muestreo en aguas microaeróbicas y anóxicas en lagos y embalses estratificados. *Limnetica*, 2001, vol. 20, n° 1, pp. 179-186.

GLEDHILL, David y JAMES, Philip. Socio-economic variables as indicators of pond conservation value in an urban landscape. *Urban Ecosystems*, 2012, vol. 15, n° 4 pp. 849-861.

GROCHOWSKA, Jolanta; BRZOZOWSKA, Renata y PARSZUTO, Katarzyna. The influence of different recultivation techniques on primary production processes in a degraded urban lake. *Oceanological and Hydrological Studies*, 2014, vol. 43, n° 3, pp. 211-218.

HERNÁNDEZ, Agustín. Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista INVI*, 2009, vol. 24, n° 65.

HUGHES, Robert; DUNHAM, Susie; MAAS-HEBNER, Kathleen; YEAKLEY, Alan; HARTE, Michael; MOLINA, Nancy; SHOCK, Clinton y KACZYNSKI, Victor. A review of urban water body challenges and approaches: rehabilitation and remediation. *Fisheries*, 2014, vol. 39, n° 1, pp. 18-29.

INAPI. Instituto Nacional de Propiedad Industrial, Chile, 2018. Disponible en: <https://www.inapi.cl/>

KURBÁN, Alejandra. Confort térmico en espacios verdes urbanos de ambientes áridos. *Hábitat Sustentable*, 2017, vol. 7, n° 1, pp. 32-43.

LABOUNTY, Joseph. What's an urban lake worth? *Lakeline*, 1995, vol. 15, pp. 6-7.

LU, Xiaotian; LU, Yonglong; CHEN, Deliang; SU, Chao; SONG, Shuai; WANG, Tiejue; TIAN, Hanqin; LIANG, Ruoyu; ZHANG, Meng y KHAN, Kifayatullah. Climate change induced eutrophication of cold-water lake in an ecologically fragile nature reserve, *Journal Environmental Sciences*, 2018, vol. 75, pp. 359-369.

- MAO, Qian; LIAO, Chencan; WU, Zhaolu; GUAN, Wenbo; YANG, Wenda; TANG, Yuqin y WU, Gang. Effects of Land Cover Pattern Along Urban-Rural Gradient on Bird Diversity in Wetlands. *Diversity* [en línea], 2018, vol. 11, n° 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/d11060086>
- MARTÍNEZ, María; RODRÍGUEZ, Armando; VÁSQUEZ, Alfonso y SÁNCHEZ, María del Rosario. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica*, 2008, vol. 18, n° 1, pp. 1-13.
- MCKINNEY, Michael. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. Bio- logical Conservation. *Scientific Research*, 2006, vol. 127, n° 3, pp. 247-260.
- MCKINNEY, Michael. Wetlands as habitat in urbanizing landscapes: Patterns of bird abundance and occupancy. *Landsc. Urban Plan*, 2015, vol. 100, pp. 144–152.
- MOLINA, Luis y RUBIO, Diego. Elementos de Urbanismo Azul: Lagos naturales y artificiales. *Fundación Universidad de América*, 2016, vol. 2, n° 9, pp. 22-44.
- MUÑOZ, María Dolores. El plan regulador de Concepción - 1960. *Arquitecturas del Sur*, 1995, vol. 12, n° 24.
- NASELLI-FLORES, Luigi. Urban Lakes: Ecosystems at Risk, Worthy of the Best care. En: SENGUPTA, M. y DALWANI, R. (eds.), Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference, 2008, pp. 1333-1337.
- NEWBOLD, T.; HUDSON, L.N.; HILL, S.L.L.; CONTU, S et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015, vol. 520, pp. 45–50.
- OERTLI, Beat; CÉRÉGHINO, Régis; HULL, Andrew y MIRACLE, Rosa. Pond conservation: from science to practice. *Hydrobiologia*, 2009, vol. 634, n° 1-9.
- PARRA, Óscar. *Situación ambiental de las Lagunas de Concepción*. Resumen ponencia. Seminario Recuperemos las Lagunas para los Habitantes de Concepción. Eula, 2009.
- RAMOS, Leonel. Concepción, su planeamiento y el reconocimiento de su marco geográfico. *Urbano*, 2002, vol. 5, n° 6, pp. 94-99.
- RAGHAVENDRA, M.; NANDINI N.; VIJAYKUMAR, M. y BHEEMAPPA K. Seasonal Variation of Phytoplankton Diversity in Anhepalaya Lake, Bengaluru Urban, India. *International Journal of Advanced Research*, 2015, vol. 3, n° 6, pp. 2400-2405.
- ROBITU, Mirela; INARD, Christian; MUSY, Marjorie y GROLEAU, Dominique. Modeling the influence of vegetation and water ponds on urban microclimate. *Solar Energy*, 2006, vol. 80, n° 4, pp. 435-447.
- RODRIGUES, Aline Goulart; BORGES-MARTINS, Márcio y ZILIO, Felipe. Bird diversity in an urban ecosystem: the role of local habitats in understanding the effects of urbanization. *Iheringia, Sér. Zool*, 2018, vol. 108.
- ROJAS, Carolina; MUÑOS, Iván y GARCÍA, Miguel Ángel. Estructura Urbana y policentrismo en el Área Metropolitana de Concepción. *Eure*, 2009, vol. XXXV, n° 105, pp. 47-70.
- RUBIO-BELLIDO, Carlos; PULIDO, Jesús y URETA-GRAGERA, María. Aplicabilidad de estrategias genéricas de diseño pasivo en edificaciones bajo la influencia del cambio climático en Concepción y Santiago, Chile. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5, n° 2, pp. 32-41.
- SCHUELER, Tom and SIMPSON, Jon. Why urban lakes are different. *Watershed Protection Techniques*, 2001, vol. 3, n° 4, pp.747-750.
- SHOCHAT, Eyal; LERMAN, Susannah; ANDERIES, John y WARREN, Paige. *Et al.* Competition, and Biodiversity Loss in Urban Ecosystems. *Bioscience*, 2010, vol. 60, n° 3, pp. 199-208.
- VERMA, Sanyogita; CHAUDHARIL, P.R.; SINGH, R.K. y WATE, S.R. Studies on the ecology and trophic status of an urban lake at Nagpur city, India. *Rasayan J. Chem*, 2011, vol. 4, n° 3, pp. 652-659.





# EL TECHO ESCUDO COMO CAPTADOR PLUVIAL EN CIUDAD JUÁREZ, MÉXICO

## THE DOUBLE ROOF AS A RAINWATER COLLECTOR IN CIUDAD JUÁREZ, MEXICO.

SALVADOR TOBIAS RAMÍREZ  
Sustentante de Maestría en Arquitectura  
Docente del programa de arquitectura de la Universidad  
Autónoma de Ciudad Juárez  
Juárez, México  
<https://orcid.org/0000-0002-7382-3329>  
stobias12@hotmail.com

JUDITH GABRIELA HERNÁNDEZ PÉREZ  
Doctora en Arquitectura  
Docente investigadora del programa de Arquitectura de la  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Juárez, México  
<https://orcid.org/0000-0003-4841-7422>  
juheman@uacj.mx

### RESUMEN

El problema del abastecimiento de agua dulce existe en diversas partes del mundo, la escasez de dicho recurso es evidente, tal como evidencia el Foro Económico Mundial (WEF por sus siglas en inglés), en su reporte de riesgos globales del año 2018, donde se expresa que en la última década, la crisis del agua ha estado siempre dentro del top cinco de riesgos globales en términos de impacto social. Este problema no es ajeno a México y mucho menos a Ciudad Juárez donde se desarrolló esta investigación.

Visualizando desde la arquitectura, la necesidad de generar edificios sostenibles que puedan mitigar el sobre explotación de los mantos freáticos, se desarrolló la idea de utilizar el sistema del techo escudo como captador pluvial, creando así un modelo multifuncional que tuviera una captación pluvial eficiente y un mejor comportamiento térmico.

Para validar dicha primicia se desarrolló una investigación aplicada de corte cuantitativo, donde se elaboraron tres modelos experimentales con la capacidad de medir la cantidad de lluvia cosechada y el comportamiento térmico en el interior de los mismos, con la finalidad de comparar la combinación del techo escudo con la captación pluvial y su comportamiento por separado.

### Palabras clave

Aguas pluviales, Techos, Cosecha lluvia, Ventilación

### ABSTRACT

The fresh water supply is a problem in various parts of the world. The shortage of this resource is evident, as seen by the World Economic Forum's Global Risks Report (2018) which states that in the last decade the water crisis has always been one of the top five global risks in terms of social impact. This problem is not foreign to Mexico and much less so to Ciudad Juárez where this research was carried out.

Visualizing this problem from an architectural point of view, there is a need to create sustainable buildings that can mitigate the overexploitation of the water table. Therefore, the idea to use a double roof system as a rainwater collector was developed, and a multifunctional model with efficient rainwater catchment and better thermal behavior was created.

To validate these first steps, an applied quantitative study was carried out in which three experimental models were developed to measure the amount of rainwater harvested and the thermal behavior within the models, in order to compare the combination of the double roof with and without rainwater catchment.

### Keywords

rainwater, roofs, rainwater harvesting, ventilation

## INTRODUCCIÓN

Se estima que solo el 2.5% del recurso hídrico total es potable, el 70% está congelado en los glaciares, alrededor del 30% es subterráneo y solo el 1% es superficial Clarke y King (2004). Esto no significa que ese mínimo porcentaje de agua potable esté desapareciendo del planeta, pues se sabe que el agua es un recurso renovable. Ahora bien, la situación es mucho más compleja que afirmar, sin más, que se trata de un recurso ilimitado. Si bien el ciclo hidrológico es el encargado de mantener el agua en movimiento a través de la hidrósfera, dicho ciclo es mermado en los mantos freáticos de muchos países debido a cambios en los patrones climáticos de algunas regiones. Tal es el caso de las sequías, fenómeno que se ha prolongado a causa del calentamiento global, ya que “el cambio climático provoca cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración en los eventos climáticos y puede resultar en un clima extremo en el evento climático” (IPCC, 2012: 5). Otro factor que afecta la disponibilidad del agua es el bombeo excesivo, ya sea por desperdicio del recurso o por una gran demanda debido a la sobrepoblación; si se considera que en el año 2017 la población mundial era de 7,550 millones y se maneja una proyección de 9,771 millones de personas para el 2050 (Organización de las Naciones Unidas, ONU, 2017), es evidente que las ciudades seguirán creciendo cada vez más y con ello, la demanda del agua.

Aunque México se cataloga como un país con baja presión sobre el recurso del agua<sup>1</sup>, no se encuentra en excelentes condiciones en relación con el uso racional y sustentable de ella. Basta señalar, en ese sentido, que de los 653 acuíferos que existen en el país, 32 tienen suelos salinos o agua salobre, 18 cuentan con intrusión de agua salada marina y 105 están sobreexplotados (CONAGUA, 2016). El abatimiento de los acuíferos es un problema difícil de solucionar, si se considera que en México existe una huella hídrica de consumo de 1978 m<sup>3</sup> de agua por habitante al año (*ibídem*). Además, la precipitación en México no da abasto a la recarga de los acuíferos, principalmente, en la zona del norte del país donde el grado de presión hídrica en promedio es de 63.76%, incluyendo las regiones hidrológico-administrativas de Península de Baja California, Noroeste y Balsas. Hay que recordar que, si el porcentaje de presión es mayor a 40%, se considera un grado de presión alto (CONAGUA, 2014). La infiltración del agua de lluvia por medios naturales es muy compleja, tal como se sostiene en el documento *Estadísticas del agua en México* (CONAGUA, 2013: 16): “Se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.2% escurre por los ríos o arroyos y el 6.2% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos”, en zonas muy urbanizadas puede existir una impermeabilidad de suelo de entre 75 al 100% (Arnold, Chester y Gibbons, 1996). Es así, que la recarga de los mantos freáticos es un proceso lento y complicado donde el abastecimiento de agua puede ser mermado por el abuso de un bombeo exhaustivo y una mínima recarga de los acuíferos. A ello hay que añadir que, al igual que todo el planeta, el país tiende al crecimiento de población. En el año 2010, en México existía una población de 114,255,555 ciudadanos y se estima

que habrá un aumento para el año 2050 de 36,581,962 personas, con el que se llegará a un total de 150,837,517 (Consejo Nacional de Población, CONAPO, 2010). Esto se traduce en un mayor número de dependientes del recurso hídrico y, por consiguiente, una mayor demanda y una presión sobre el suministro del agua en el futuro próximo. Por su parte, Ciudad Juárez, cuya población es de 1,391,180 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, 2015) y proyección de crecimiento para el año 2050, de 1,593,238 personas (CONAPO, 2010), no es ajena a estas situaciones, pues aquí también la densidad de población tiende a aumentar y, de igual manera, la demanda del agua.

Ciudad Juárez está localizada en el Desierto Chihuahuense, (Figura 1) cuenta con una temperatura máxima promedio de 40.9°C en el mes de junio y una mínima promedio de -2.6°C en el mes de diciembre, según datos de las normales climatológicas (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2010). Considerando que la oscilación térmica puede llegar hasta 14°C, este panorama se vuelve muy característico de un desierto; efectivamente, aquí las lluvias son escasas y existe una precipitación promedio anual de 251.69 mm anuales. Según la clasificación de Köppen de esta localidad se identifica con el tipo Bw<sub>kx</sub>(e'), el cual se define de la siguiente manera:

Bw = Clima muy seco o desértico

k = Templado, con verano cálido, temperatura media anual entre 12° y 18°C; la temperatura del mes más frío oscila entre los -3 y 18°C, y la temperatura del mes más caliente es mayor a 18°C.

x' = Régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno

e' = Muy extremoso, oscilación de temperatura mayor de 14°C.

(IMIP, 2016)

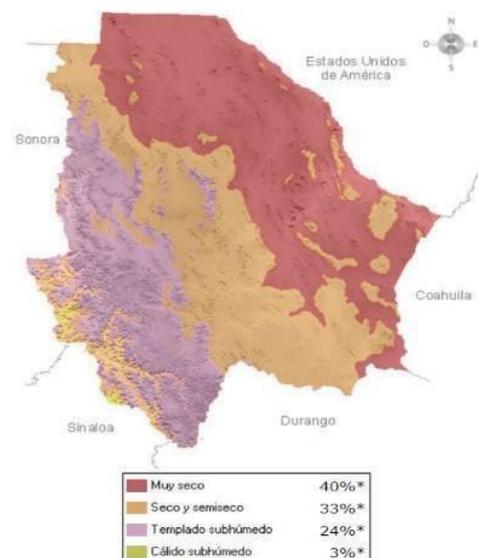


Figura 1. Mapa del clima del estado de Chihuahua y sus municipios. Fuente: INEGI (2010).

[1] Cabe indicar que “la presión sobre los recursos hídricos se cuantifica al dividir la extracción del recurso entre el agua renovable o disponibilidad” (Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, 2016: 128).



Figura 2. Mapa mental de metodología. Fuente: Tobías (2019: 48).

Como menciona Salas, “se estima que para el año 2013 el agua utilizable del manto acuífero estará agotada” (2006:11). Si se extrae más recurso hídrico de lo que se infiltra, tarde o temprano se llegará al límite extraíble, lo cual es un problema latente en ciudad Juárez. Por ello, desde 2009 entró en funcionamiento el acueducto Conejos Médanos que extrae del acuífero Bolsón de Mesilla 1000 litros por segundo, el equivalente al 20 por ciento del suministro total de la ciudad.

La crisis en el abastecimiento de agua dulce a la que se enfrentan los juarenses se vuelve notoria con el acueducto Conejos-Médanos, ya que este bombea dicho líquido aproximadamente a cuarenta kilómetros de distancia al poniente de la mancha urbana, con el fin de suministrar a la ciudad, propiciando una inversión insostenible para futuras generaciones, por su costo elevado, mantenimiento, consumo energético y su daño al ecosistema.

En ese contexto, se vuelve vital, tal como sostiene Serrano, “reutilizar el recurso pluvial ofrece una doble solución, por un lado, se evitan inundaciones y, por el otro, se ahorra agua y proporciona un aumento en las reservas de este líquido vital” (2014: 26). Estas acciones contribuirían a mitigar el abatimiento de los mantos freáticos y a mejorar el uso del recurso hídrico.

La lluvia, siendo la principal fuente de abastecimiento de agua dulce que se tiene en el planeta, además de ser considerada como el agua más pura en su estado natural, genera la recarga de los acuíferos. Abastece a ríos y también suministra, por medio de las escorrentías, a lagos y lagunas, funcionando así como una parte importante

del ciclo hidrológico. De tal modo, este recurso hídrico desempeña ciertamente un papel fundamental para la sobrevivencia de los seres vivos del planeta.

## METODOLOGÍA

Esta investigación contempla cuatro parámetros a seguir para el cumplimiento de los objetivos de la investigación. El mapa conceptual de la Figura 2 ilustra, a continuación, la metodología sugerida para el experimento.

Para conseguir el paso 1 de este estudio se realiza la investigación pertinente de ejemplos de experimentos y mediciones en términos de captación pluvial y comportamiento térmico del techo escudo. De esta forma, se busca generar una base que dé sustento al diseño del experimento elaborado en este trabajo y que permita reflexionar sobre materiales, dimensiones y características óptimas de los modelos.

Para el paso 2 se materializa el diseño de los modelos y, posteriormente, se realiza una prueba inicial con el objetivo de conocer su funcionamiento e identificar posibles errores que, de encontrarse, se corregirían aquí.

Los modelos fueron orientados en el eje Norte - Sur con la parte más alta de la techumbre hacia el norte, y se posicionaron equidistantemente en el eje Oriente – Poniente a una distancia de separación entre ellos de 1.50 m. Se utilizaron muros con la misma altura, dimensión y forma de los modelos para eliminar la variable de sombreado en las superficies de los muros, como ejemplifica la Figura 3.

Además, en la Figura 4 se puede observar la imagen del entorno inmediato, el cual fue debidamente analizado para evitar posibles errores en la medición por la generación de sombreado en los modelos experimentales. Por lo anterior, los modelos experimentales fueron colocados en el techo de una vivienda, dando prioridad a la libertad de obstáculos.

El modelo testigo, o MT (Figura 5), cuenta con una losa de concreto armado con peralte de 12 centímetros y recubrimiento de impermeabilizante asfáltico, y una estructura de madera que forma un espacio volumétrico de 1 m<sup>3</sup> (debido a que la superficie de techumbre mide 1 m<sup>2</sup>, unidad de medida utilizada nacional e internacionalmente para la cosecha de lluvia) y que es recubierta con placa de poliestireno de 2" de espesor con una densidad de 24 kg. Por último, el modelo dispone de un sistema de captación a base de un canal de PVC a media caña de 4" de

diámetro, tubería de PVC que conduce las escorrentías hasta el almacenamiento de lluvia, con una capacidad máxima de 45 litros.

El modelo con techo escudo y pendiente del 2% o TE2 (Figura 6), es exactamente igual que el testigo (MT), pero con la adición del techo escudo a base de lámina galvanizada, con una pendiente de 2% laterales cubiertos y únicamente un acceso y salida de ventilación de 5 cm. en la cara Norte y Sur.

Finalmente, el modelo con techo escudo y pendiente de 27% (15 °), o TE15 (Figura 7), es también igual al testigo, con la diferencia de que el sistema de descarga de calor a base de lámina galvanizada tiene una pendiente de 10% para la medición del mes de julio y 27% de pendiente para el mes de agosto. Posee laterales cubiertos y únicamente un acceso y salida de ventilación de 5 cm. en la cara Norte y Sur.

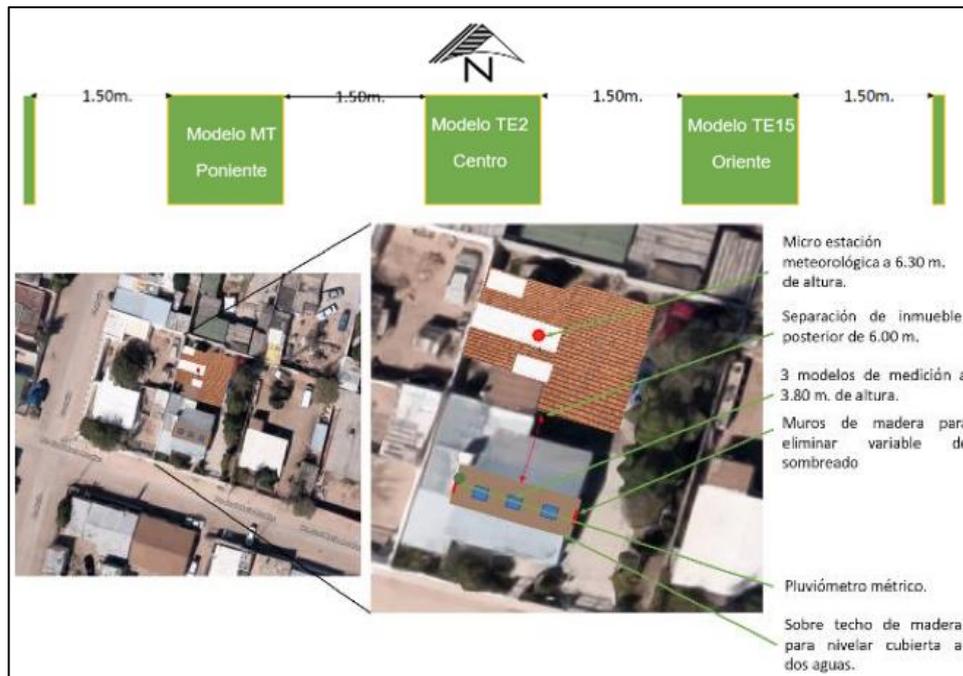


Figura 3. Gráfico de ejemplificación de la ubicación de los modelos. Fuente: Tobías (2019: 49).



Figura 4. Imagen del entorno los modelos. Fuente: Tobías (2019).

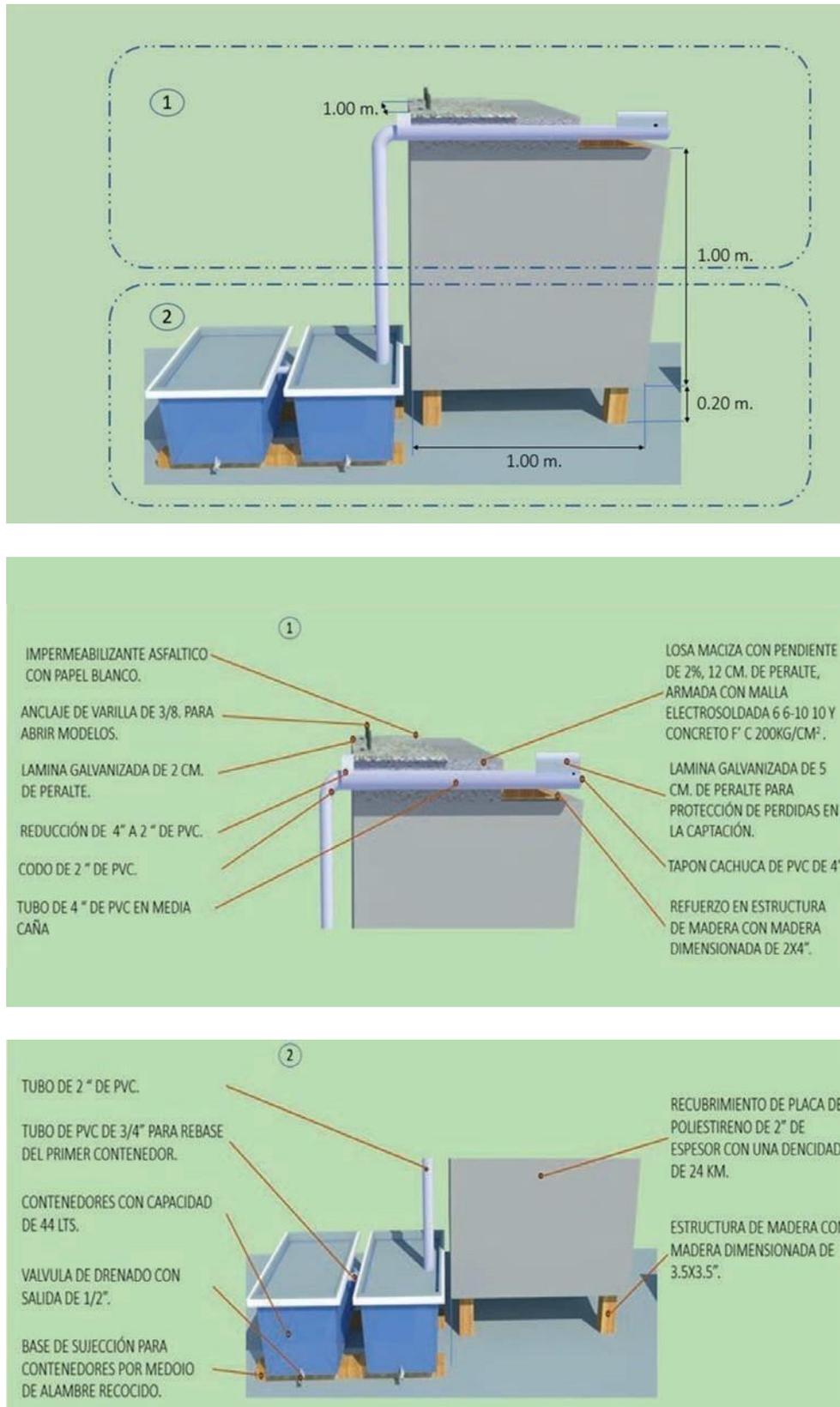


Figura 5. Gráfico del Modelo MT (ubicación poniente). Fuente: Tobias (2019: 51).

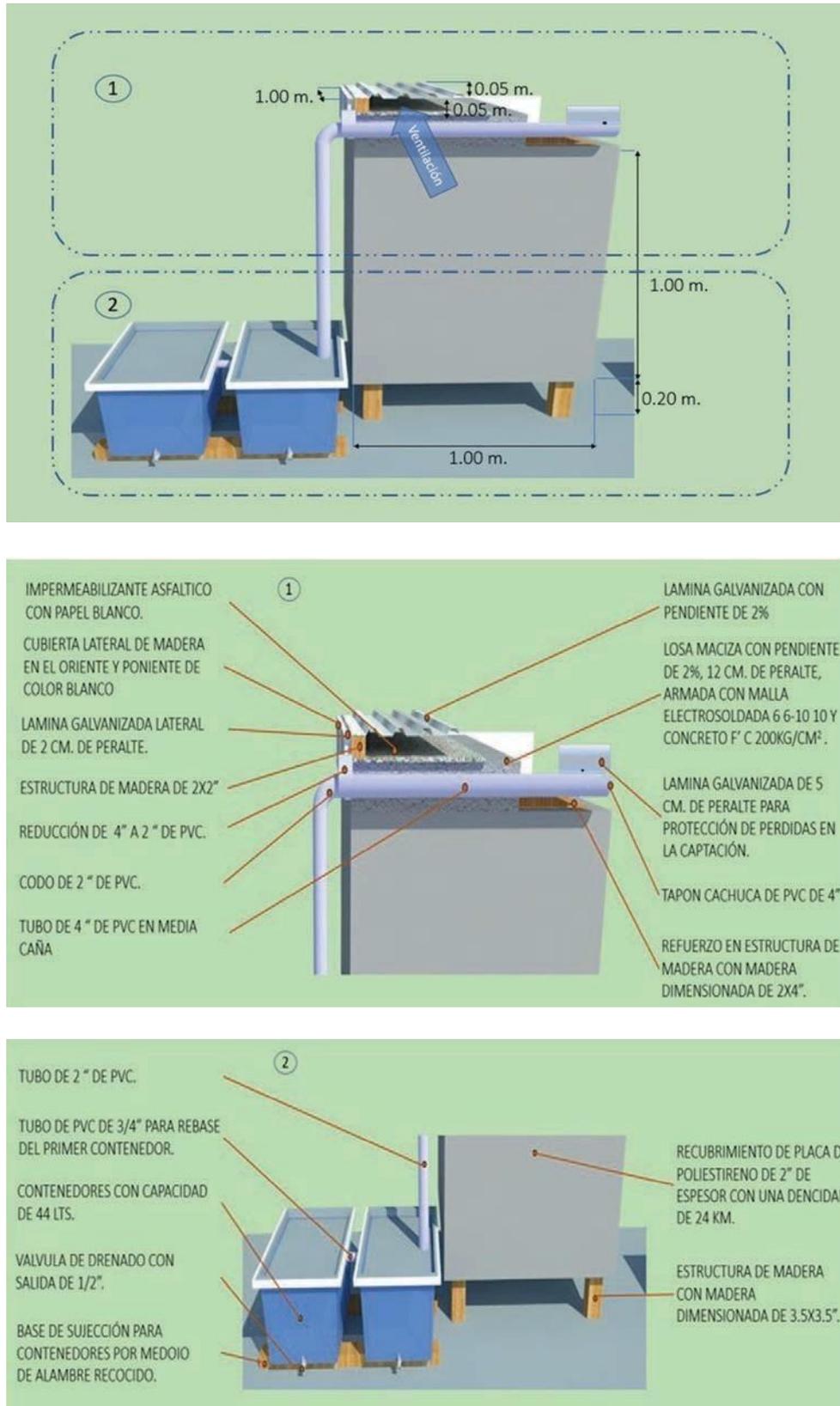


Figura 6. Gráfico del modelo TE2 (ubicación Centro). Fuente: Tobías (2019: 53).

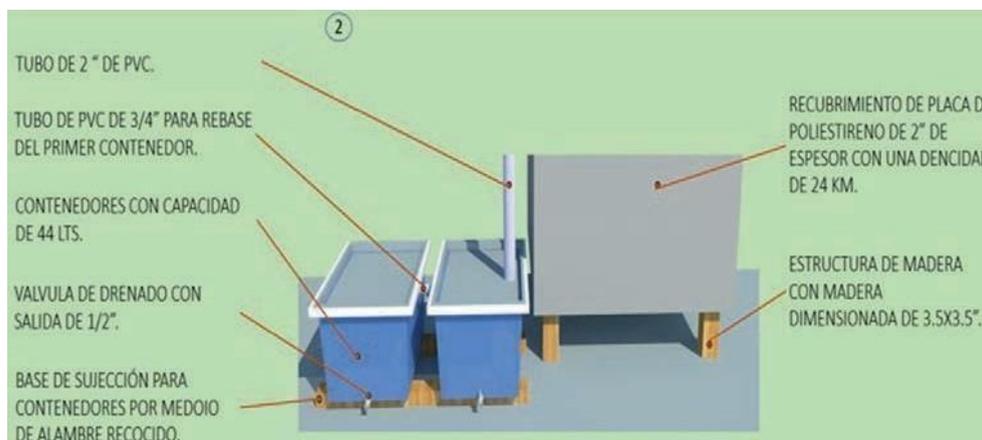
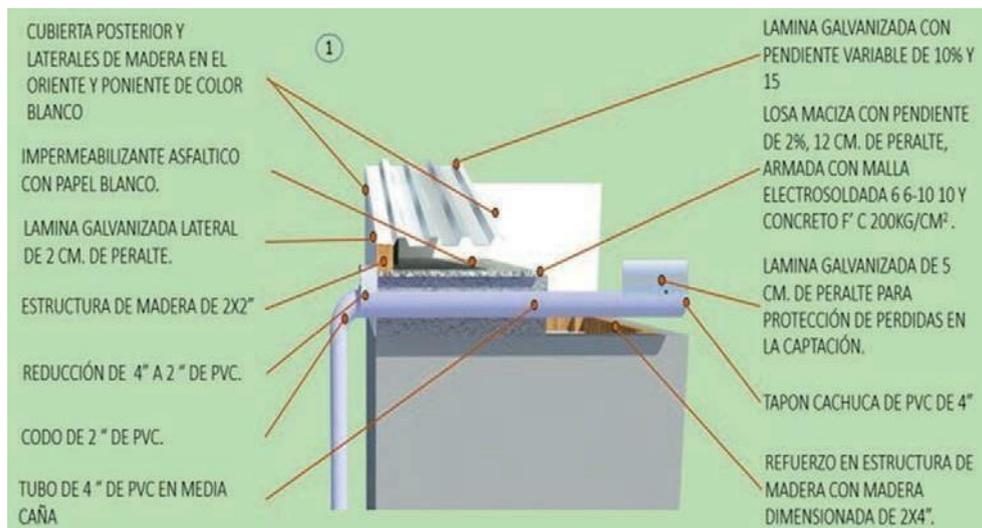
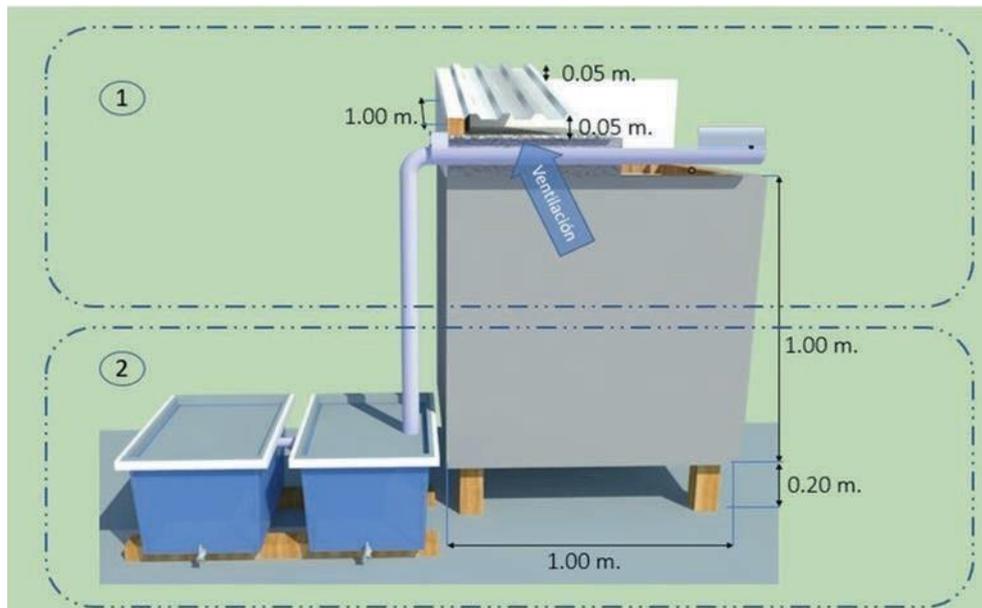


Figura 7. Gráfico del modelo TE15 (ubicación oriente). Fuente: Tobías (2019: 55).

Una vez fabricados los modelos se lleva a cabo el paso 3, la medición. Para la captación, los almacenadores de agua de lluvia son graduados litro por litro con el fin de eliminar cualquier variación causada por algún desnivel. Para la medición de temperatura, se colocan hobs tipo *data logger* dentro de los modelos, aunado a termopares que miden la temperatura superficial de las cubiertas. Además, con el propósito de comparar estos datos con el exterior, se dispondrá una micro estación meteorológica que permitirá conocer la temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento.

El paso 4, y final, plantea agrupar la información recopilada y generar una base de datos a partir de la cual se pueda construir una matriz de información que, a su vez, sirva para comparar el comportamiento térmico y la captación pluvial de cada uno de los modelos propuestos.

### ANTECEDENTES CAPTACIÓN PLUVIAL

En los últimos años la captación pluvial en viviendas, desde la arquitectura e ingeniería, ha sido supeditada al fin único de recoger el recurso hidrológico sin la búsqueda del máximo aprovechamiento del sistema. Por ejemplo, Novak, Geisen y Debusk (2014) expresan que la cantidad de lluvia que se puede recolectar está estrechamente relacionada con el material de la superficie impermeable donde se canalizan las escorrentías para su almacenamiento, por ello utilizan como parámetro de medición el coeficiente de escurrimiento (Figura 8). De semejante forma, Worm y Hattum (2006) (Figura 9) utilizan sus propios valores en los materiales más comunes para techumbres.

El equipo de Novak tiene similitudes en el coeficiente de escurrimiento en el metal con Lancaster (2009), cuyo valor es de 0.95. A diferencia de los anteriores autores, Burgess menciona que “como regla general, se puede esperar captar en promedio de 75-80 por ciento de la precipitación real” (2012: 22), debido a los materiales que cubren la superficie de cosecha de lluvia y las pérdidas del sistema.

Gracias a estos coeficientes de escurrimiento se han desarrollado fórmulas para estimar la cantidad de lluvia captable al año. El equipo de Novak emplea la Ecuación 1 siguiente:

$$V_{supply} = A \times P \times C \times 0.623 \quad (1)$$

Donde:

$V_{supply}$  es igual a la cantidad de agua de lluvia disponible a captar.

P es igual a la precipitación pluvial anual.

A es igual al área de captación.

C es igual al coeficiente de escurrimiento.

0.623 es el valor de conversión a galones (este valor es utilizado por los autores ya que son americanos y utilizan el sistema de medida inglés.).

Por su parte, Burgess utiliza la siguiente Ecuación 2:

$$PWC = A \times P \times CE \quad (2)$$

Roofing Material	Runoff Coefficient
Metal	0,95
Asphalt	0,90
Concrete	0,90
Membrane Type EPDM, PVC, etc.	0.95-0.99
Tar and Gravel	0.80-0.85

Figura 8. Tabla de coeficientes de escurrimiento por material. Fuente: Novak, Geisen y Debusk (2014: 89).

Type	Runoff Coefficient
Galvanised iron sheets	>0.9
Tiles (glazed)	0.6-0.9
Aluminium sheets	0.8-0.9
Flat cement roof	0.6-0.7
Organic (e.g. thatched)	0.2

Figura 9. Tabla de coeficientes de escurrimiento por material. Fuente: Worm y Hattum (2006: 31).

Donde:

PWC es la Potencial captación de lluvia.

A es igual al área de captación.

P es igual a la precipitación pluvial anual.

CE es igual a la eficiencia de captación del 75-80%.

Lo anterior evidencia la importancia de la unidad de medida según cada autor y su nacionalidad. Para el sistema métrico inglés, la captación es medida en una superficie por  $ft^2$  y por pulgada de lluvia anual, a diferencia del sistema métrico decimal, donde es medida en una superficie por  $m^2$  y por mm de precipitación al año.

Krishna (2005) establece que para la potencial lluvia captable se deben de considerar otros factores (y no solo el material de la superficie captable) como la evaporación del agua o el agua que salpica fuera del área de captura, los cuales pueden mermar la cantidad de lluvia que se almacena. Aunado a ello, un aspecto para tener en cuenta es el explicado en la guía de captación pluvial desarrollada por la Environment Agency England (2010) donde la eficiencia del filtro es medida como un coeficiente de 0.90 dentro del sistema de canales que, por ende, disminuye el volumen de la cosecha de lluvia. Es interesante mencionar, en esta línea, que para Vasudevan (2002) la calidad del

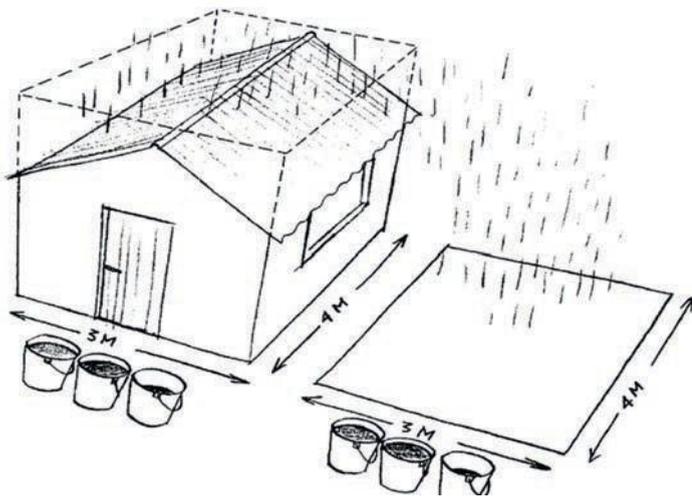


Figura 10. Gráfico de área de captación en techos con pendiente.  
 Fuente: Worm y Hattum (2006: 29).

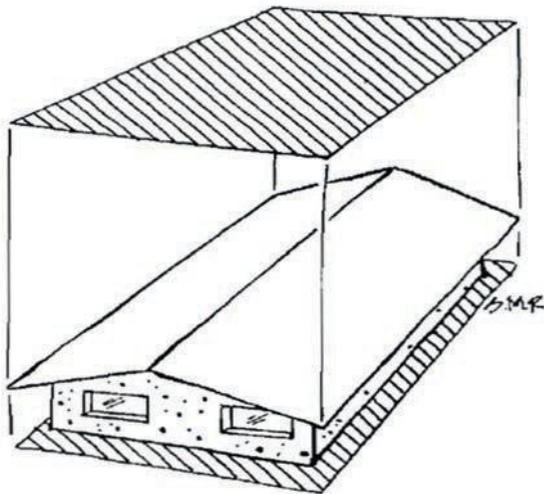


Figura 11. Gráfico de área de captación en techos con pendiente.  
 Fuente: Lancaster (2009: 50).

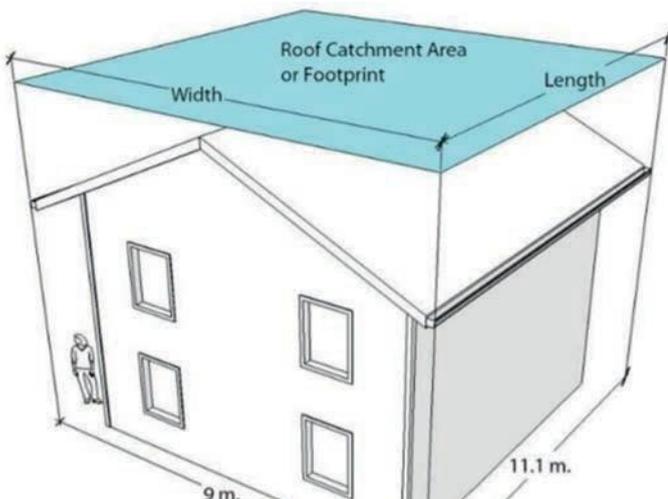


Figura 12. Gráfico de área de captación en techos con pendiente.  
 Fuente: Burgess (2012: 21).

agua captada en una superficie se relaciona estrechamente con las condiciones del clima, el medioambiente circundante y el material de la cubierta

En las Figuras 10, 11 y 12 se puede observar cómo la captación pluvial es considerada sin buscar una eficiencia máxima. En efecto, se identifica cómo en un techo con poca pendiente o con una inclinación más pronunciada, esta se debe medir en el plano horizontal del área captable, sin importar si el techo posee una longitud más larga por tener pendiente, en comparación con una cubiertaplana.

### ANTECEDENTES DEL TECHO ESCUDO

Con respecto al techo escudo o sistema de descarga de calor, este ha sido medido en investigaciones mediante una metodología donde se experimenta con un modelo a escala, ya sea en un sitio al aire libre o en un lugar controlado donde se simula la radiación solar, lo cual a su vez es complementado por el modelo analítico, en base a cálculos necesarios para medir su funcionamiento. Tal es el caso de Hernández *et al.* (2011) (Figura 13) y de Chi-ming, Huang y Chiou (2008) (Figura 14), quienes llevan a cabo una comparativa de su medición experimental con autores que han realizado estudios a base de cálculos, como Morrone, Campo y Manca (1997).

Hora (hrs)	G	T <sub>a</sub>	T <sub>t</sub> °C	T <sub>c</sub> °C	T <sub>p</sub> °C	T <sub>a</sub> °C
9:00	100	22	20,5	22,1	29,3	23,2
10:00	180	21,8	21,7	21,9	36,5	30,2
11:00	290	23,3	23,9	24	47	35
12:00	380	23,5	24,5	24,6	56,1	43,5
13:00	430	25	25	25,3	58,5	44,2
14:00	410	25,6	25,1	25,8	57,3	46,6
15:00	350	25	25,6	26	53,4	39,7
16:00	240	24	24,2	24,5	44,3	34,2
17:00	180	22,8	23,8	23	38,1	29,2

Hora (hrs)	G	T <sub>a</sub>	T <sub>t</sub> °C	T <sub>c</sub> °C	T <sub>p</sub> °C	T <sub>a</sub> °C
9:00	100	22	20,5	20,52	27,27	26,11
10:00	180	21,8	21,7	21,963	34,78	27,28
11:00	290	23,3	23,9	23,796	44,37	34,27
12:00	380	23,5	24,5	24,33	51,11	37,41
13:00	430	25	25	24,79	56,23	40,2
14:00	410	25,6	25,1	25,98	55,38	39,47
15:00	350	25	25,6	25,46	50,43	37,69
16:00	240	24	24,2	24,42	41,44	32,98
17:00	180	22,8	23,8	23,76	35,88	29,86

Figura 13. Gráfico de comparación de resultados del modelo experimental y el analítico. Fuente: Hernández (2011: 38).

	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 60^\circ$
Present study	6,56	7,5	8,56
Eq. (16) by Morrone et. Al. [8]	6,32	6,66	7,1
Sum of thermal boundary layers	7,25	7,633	8,62

Figura 14. Gráfico de dimensiones óptimas entre autores.  
 Fuente: Chi-ming (2008: 1754).

El modelo utilizado por el equipo de Hernández presentaba una pendiente de  $30^\circ$  con un espaciamiento entre las dos cubiertas de 5 cm y una superficie de  $2.40 \text{ m}^2$  (Figura 15). En cambio, el equipo de Chi-ming, que buscó la máxima eficiencia del sistema, realizó mediciones a partir de un modelo con pendientes de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $60^\circ$ ; un espaciamiento entre los techos de 5.0 cm, 6.56 cm, 7.5 cm y 8.56 cm, consecutivamente; una superficie de  $0.80 \text{ m}^2$  y la adición de la barrera radiante que disminuye aún más la entrada del calor en el techo inferior. Advirtieron así que el techo escudo es más eficiente entre mayor sea la velocidad del flujo del calor ventilado (Figura 16). Por su parte, Morales (1993) midió el techo escudo en uno de los cubículos del Laboratorio de Energía Solar del I IM-UNAM en Temixco, en el marco de una investigación planteada por medio del modelo analítico y experimental. Al momento de realizar las mediciones de campo, llevó a cabo el monitoreo de un techo hueco, con un sistema constructivo de vigueta y bovedilla, el cual poseía una inclinación de  $9^\circ 35'$ , con orientación Norte-Sur; al sur la parte más baja del techo y al norte la parte más alta de este. Dicha elección (del sistema constructivo) se debió al objetivo general que se tenía definido, donde el sistema de descarga de calor debía ser para clima cálido, usar los materiales y mano de obra disponibles en el mercado local, lo cual, a diferencia de los otros autores citados, genera un diálogo con el entorno donde se inserta el experimento (Figura 17).

## RESULTADOS

El experimento realizado en la temporada de verano del año 2017 contempló los meses de julio, agosto y septiembre, y midió la captación de lluvia con 3 modelos experimentales: el llamado "Modelo TE15", que posee un techo escudo con pendiente variable de 10% y 27%; el "Modelo TE2", que dispone de un techo escudo con pendiente de 2% sin posibilidad de cambiar dicha inclinación; y, por último, el "Modelo MT" que tiene una cubierta con impermeabilizante asfáltico sin techo escudo.

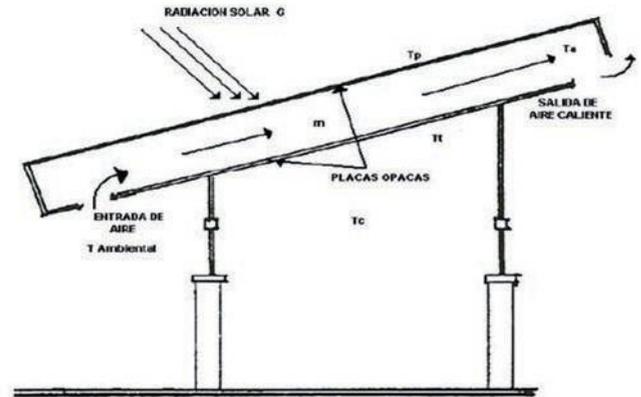


Figura 1. Sistema de descarga de calor en techos formado por dos superficies opacas

Figura 15. Gráfico del modelo experimental.  
 Fuente: Hernández (2011: 34).

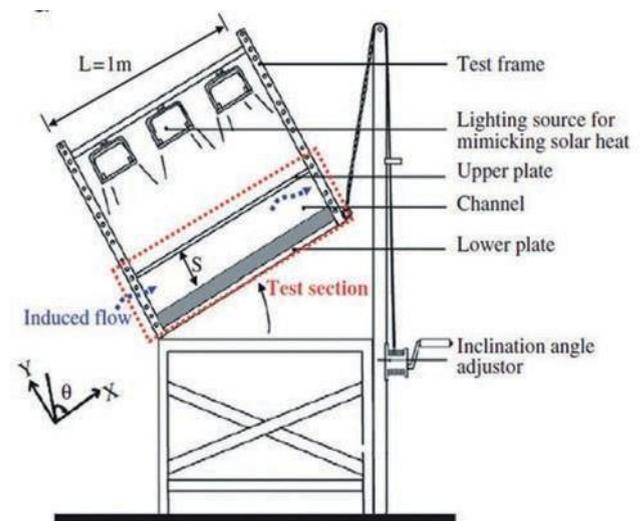


Figura 16. Gráfico del modelo experimental.  
 Fuente: Chi-ming (2008: 1750).

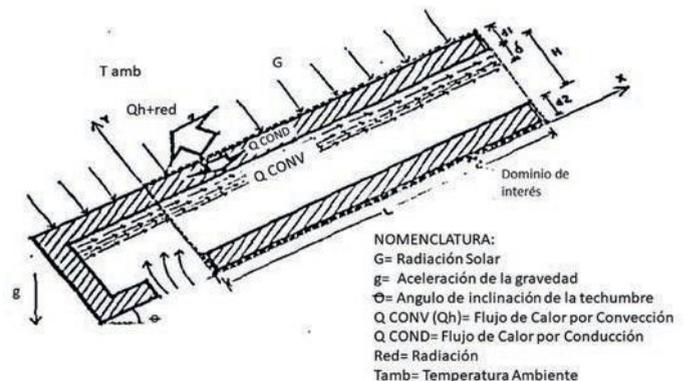


Figura 17. Gráfico del funcionamiento del techo escudo.  
 Fuente: Morales (1993: 20).

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE AGOSTO 2017								
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15° - 10 %	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR		CAP. INTERMEDIA	CAP. MENOR
1	5.90 LTS.	4.43 LTS.	4.42 LTS.	6.40 LTS.	M. TE15		M. TE2	M. MT
5	1.31 LTS.	1.17 LTS.	0.69 LTS.	1.00 LTS.	M. TE15		M. TE2	M. MT
7	0.47 LTS.	0.98 LTS.	0.25 LTS.	0.40 LTS.	M. TE15		M. TE2	M. MT
11	1.37 LTS.	1.47 LTS.	1.07 LTS.	1.00 LTS.	M. TE2		M. TE15	M. MT
12	2.00 LTS.	2.00 LTS.	0.71 LTS.	1.20 LTS.	TE15	TE2	-	M. MT
14	3.60 LTS.	2.71 LTS.	3.00 LTS.	1.20 LTS.	M. TE15		M. MT	M. TE2
15	24.25 LTS.	17.65 LTS.	19.67 LTS.	29.00 LTS.	M. TE15		M. MT	M. TE2
20	8.35 LTS.	6.20 LTS.	7.00 LTS.	5.80 LTS.	M. TE15		M. MT	M. TE2
21	5.45 LTS.	3.67 LTS.	4.00 LTS.	4.40 LTS.	M. TE15		M. MT	M. TE2
24	2.40 LTS.	2.27 LTS.	1.96 LTS.	1.60 LTS.	M. TE15		M. TE2	M. MT

Figura 18. Tabla de la captación pluvial del mes de agosto. Fuente: Tobías (2019: 64).

En las Figuras 18 y 19 se puede observar que, en el mes de agosto, el modelo TE15 captó en promedio 21.94% más lluvia que el modelo TE2 y 31.03% más que el MT. El día con mayor precipitación pluvial fue el 15 de agosto, cuando se registraron 29 mm, de los cuales el modelo TE15 captó 24.25 litros; el TE2, 17.65 litros y el modelo MT, 19.67. Así, resulta que el modelo TE15 captó 4.58 litros más que el MT, es decir, 18.88 % más.

Las mediciones de temperatura realizadas en la temporada de verano del año 2017 también contemplaron los meses de julio, agosto y septiembre, registrando la temperatura exterior, la temperatura interior de los modelos, la humedad relativa interior y exterior, así como las temperaturas superficiales de las cubiertas de lámina galvanizada y las cubiertas con impermeabilizante asfáltico. El día 26 de julio se pudo constatar que: en relación a la temperatura interior de los tres modelos, el modelo MT tuvo un incremento de

temperatura mayor a 10 grados centígrados en las horas críticas de la tarde, en comparación con el modelo TE15, tal como exhibe la Figura 20.

También se observa en la gráfica cómo, en la madrugada, la temperatura va descendiendo en los tres modelos de una manera similar, incluso el modelo MT llega a tener una temperatura interior menor que los modelos con el techo escudo a las 7:00 am, pero a las 8:00 am la temperatura empieza a aumentar y el modelo MT sube fuera de proporción con respecto a los modelos TE15 y TE2.

Con respecto a la humedad relativa del 26 de julio del periodo 2017, se puede ver (Figura 21) cómo esta se comporta de una manera constante dentro de los modelos experimentales, sin variaciones abruptas, siendo el modelo TE15 el que presenta la humedad relativa más baja, en promedio 79.14%, y el modelo MT, la humedad relativa más alta, un 88.30%.

## CONCLUSIONES

La situación de Ciudad Juárez evidencia un panorama poco alentador para la localidad en relación al abastecimiento de agua dulce y el abatimiento del acuífero Bolsón del Hueco. El limitado recurso hídrico del que se dispone, ya sea superficialmente en el Río Bravo, el cual no se utiliza para consumo de la ciudad, o subterráneamente, en los acuíferos Bolsón del Hueco y Conejos-Médanos, es un claro indicador de alarma para la región. Geográficamente, esta se encuentra inserta en la zona de la latitud de 31 grados norte, la que es mundialmente reconocida por los grandes desiertos que alberga, en este caso particular, el Desierto Chihuahuense, caracterizado especialmente por la poca precipitación y las temperaturas extremas registradas.

Dado este panorama, es de suma importancia el uso de agua de lluvia para los juarenses y por ello también concebir un sistema que pueda mejorar las condiciones de una cubierta en términos de captación y comportamiento térmico, ya sea en una edificación construida como en una en etapa de proyecto. Sumado a lo anterior, la multifuncionalidad que logra generarse con el techo escudo, la que va más allá de solo utilizar un material óptimo para captar lluvia en una cubierta, sin duda, puede mejorar las condiciones de los techos típicos con impermeabilizante asfáltico de Ciudad Juárez.

Desde esa perspectiva, el trabajo expuesto demostró que el sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo consigue una mayor captación de lluvia, además de un mejor comportamiento térmico, en comparación al sistema de cosecha de lluvia sin el techo escudo. Efectivamente, los resultados de este estudio evidencian que el modelo testigo (MT), el cual no contó con el techo escudo, fue el que presentó una menor captación pluvial y una menor eficiencia térmica. Es importante resaltar que el modelo TE2 consiguió una mejor eficiencia en cuanto al comportamiento térmico que el MT, sin embargo, la eficiencia de dicho comportamiento resulta menor al compararse con el modelo TE15.

Con respecto a la diferencia de captación pluvial registrada entre los modelos experimentales MT y TE15 en los eventos de precipitaciones, se concluye que esta se debe a dos factores principalmente. En primer lugar, al uso de un material óptimo para un mayor coeficiente de escurrimiento y, en segundo, a los grados de inclinación de la cubierta determinados para este caso de estudio.

A partir de la investigación planteada, se ha podido comprobar la viabilidad del modelo desarrollado, el cual busca perfeccionar la captación del agua pluvial y, al mismo tiempo, mejorar las características térmicas de la edificación. Consecuentemente, esta propuesta aspira a desarrollar un sistema que promueva tanto la optimización de las características de confort de un espacio arquitectónico, como la reducción del desperdicio del agua, con el fin último de mitigar los efectos negativos al ambiente.



Figura 19. Gráfica de la captación pluvial del mes de agosto. Fuente: Tobías (2019: 65).

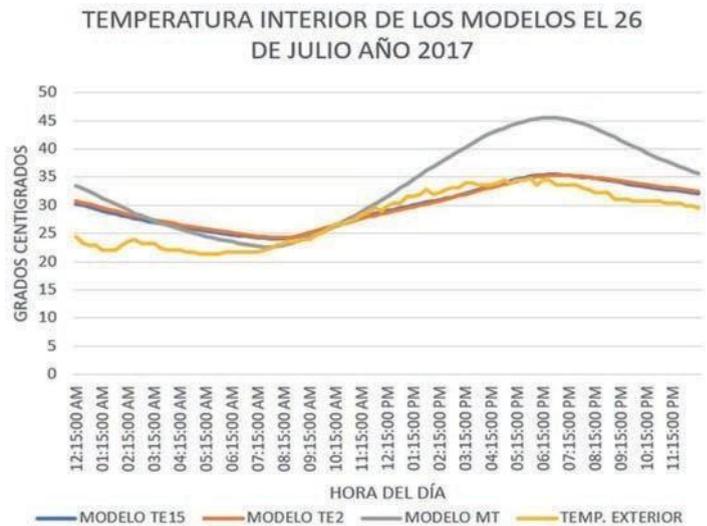


Figura 20. Gráfica de temperatura interior de los modelos el 26 de julio 2017. Fuente: Tobías (2019: 67).



Figura 21. Gráfica de humedad relativa en el interior de los modelos el 26 de julio 2017. Fuente: Tobías (2019: 68).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, J., Chester L. y Gibbons J. (1996). Impervious Surface Coverage. The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American planning association*. 62 (2),(1996). 243-258.
- Burgess, B. (2012) *Rainwater Harvesting BEST PRACTICES GUIDEBOOK*. British Columbia: REGIONAL DISTRICT OF NANAIMO.
- CANAPO. (2010) *Proyecciones de la Población 2010-2050*. Recuperado de <http://www.conapo.gob.mx/ES/CONAPO/PROYECCIONES>
- Chi-ming, J. y Huang, J. 2007. Optimal spacing for double-skin roofs. *Building and Environment*, 43 (2008), 1749-1754.
- Clarke, R. y King J. (2004). *The Water Atlas*. Los Angeles: University of California Press.
- CONAGUA. (2013). *Estadísticas del agua en México edición 2013*. México D.F.: CONAGUA.
- CONAGUA. (2014). *Estadísticas del agua en México edición 2014*. México D.F.: CONAGUA.
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del agua en México edición 2016*. México D.F.: CONAGUA.
- Environment Agency England. (2010). *Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide*. Almondsbury: Environment Agency.
- Hernández, V., Contreras, C., Gonzáles, G., Morillón D. y Fernández J. (2011). Modelo analítico que describe el comportamiento térmico de un sistema de descarga de calor en techos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 33 (1), 33-42.
- IMIP.(2016) *Plan de Desarrollo Urbano sostenible de Cd. Juárez, Chihuahua*. Cd. Juárez: IMIP.
- INEGI. (2010). *Clima Chihuahua*. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio/clima.aspx?tema=me&e=08>
- INEGI. (2015). *Censo de población 2015*. Recuperado de [http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio/div\\_municipal.aspx?tema=me&e=08](http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=08)
- IPCC. (2012) *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: IPCC.
- Krishna, J. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*, Austin Texas.: Texas Water Development Board
- Lancaster, B. (2009). *Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond Volume 1*. Tucson: Rainsource Press.
- Morrone B, CAMPO A, y Manca O. (1997). Optimum plate separation in vertical parallel-plate channels for natural convective flows: incorporation of larger spaces at the channel extremes. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 40 (5): 993–1000.
- Morales, J. (1993). *Estudio de Techos de Edificios Construidos para Operar en forma Pasiva*. Tesis publicada. Ciudad de México: UNAM.
- Novak A, DeBusk, K. y VanGiesen E. (2014). *Designing Rainwater Harvesting systems: integrating Rainwater into Building systems*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2017). *La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030*. Recuperado de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>
- Salas J (2006). *Problemática del Agua y Crecimiento Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua*. Cd. Juárez: UACJ.
- Serrano, S. (2014). *Aprovechar el agua de lluvia. Doble solución. Impluvium*. Recuperado de <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>
- SMN. (2010) *Información Climática por Estado*. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=chih>
- Tobias, S. (2019). *Comparativa entre el sistema tradicional de captación pluvial y la combinación de la cosecha de lluvia con el techo escudo. caso de estudio: Ciudad Juárez*. Tesis publicada. Ciudad Juárez: UACJ.
- Vasudevan, L. (2002) *A study of Biological Contaminants in Rainwater Collected from Rooftops in Bryan and College Station, Texas*: Texas A&M university.
- WEF. (2018). *The Global Risks Report 2018 13th edition*. Switzerland, Geneva: World Economic Forum.
- Worm, J. y Hattum, T. (2006). *Rainwater harvesting for domestic use*. Netherlands: Digigrafi.





Recibido 01/03/2019  
Aceptado 21/06/2019

# PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE TECNOLOGÍAS DE VENTANAS EN ARGENTINA

## ENERGY PROPERTIES OF WINDOW TECHNOLOGIES IN ARGENTINA

MAUREEN DE GASTINES  
Doctora

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)  
Mendoza, Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-0357-9375>  
mdegastines@mendoza-conicet.gob.ar

ANDREA ELVIRA PATTINI  
Doctora

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
Directora del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAH)  
Mendoza, Argentina  
<https://orcid.org/0000-0001-6305-1268>  
apattini@mendoza-conicet.gob.ar

### RESUMEN

Las ventanas influyen de manera significativa en las demandas energéticas para calefacción, refrigeración e iluminación de los edificios. En este trabajo, se caracterizan las propiedades energéticas de las tecnologías de ventanas disponibles en Argentina, mediante el cálculo de sus índices K, FS y TV (transmitancia térmica, factor solar y transmitancia visible). Se analiza, además, el impacto que tienen diversos parámetros, como las dimensiones de la abertura, la tipología, el material y la absorptancia solar del marco, sobre los índices mencionados. Los casos de estudio se seleccionaron cuidadosamente para asegurar una buena representatividad de la muestra analizada, utilizando, en particular, el método de análisis de conglomerados. El cálculo de los índices se realizó con el apoyo de los programas WINDOW 6.3 y THERM 6.3. Los resultados indican que los valores de K están comprendidos entre 1.88 y 6.00 W/m<sup>2</sup>K, mientras que los valores de FS varían entre 0.08 y 0.80, y los de TV entre 0.03 y 0.80, según el material del marco, la tipología y el tipo de vidriado.

### Palabras clave

ventanas, índices, energía, desempeño, simulación.

### ABSTRACT

Windows significantly impact the energy demand for heating, cooling and lighting in buildings. This study characterizes the energy properties of window technologies available in Argentina by calculating their thermal transmittance (U), solar heat gain coefficient (SHGC) and visible transmittance (VT). Additionally, the impact of different parameters like window opening dimensions, typology, frame material and solar absorptance on the mentioned indices is analyzed. Case studies were selected carefully using cluster analysis methods in order to ensure that the sample examined was representative. The calculation of the U, SHGC and VT indices was carried out using WINDOW 6.3 and THERM 6.3 software. The results indicate that U-values are between 1.88 and 6.00 W/m<sup>2</sup>K, while SHGC values vary between 0.08 and 0.80, and VT values are between 0.03 and 0.80, depending on frame material, typology and glazing characteristics.

### Keywords

windows, indices, energy, performance, simulation

## INTRODUCCIÓN

Las ventanas son protagonistas en los intercambios térmicos y lumínicos entre el exterior y los espacios interiores de los edificios, y por ello impactan de manera significativa en las demandas energéticas para calefacción, refrigeración e iluminación de los mismos (Alam y Islam, 2016; Sharda y Kumar, 2016; Thalfeldt, Kurnitski y Voll, 2016; Alwetaishi, 2017; Trzaski y Rucinska, 2015). Los índices que caracterizan estos flujos energéticos a través de las ventanas son la transmitancia térmica (K, también comúnmente designada por la letra U), el factor solar (FS) y la transmitancia visible (TV). El factor K expresa el flujo de calor entre el lado más cálido y el otro lado (más frío) de la carpintería, por unidad de área y grado de diferencia de temperatura. El factor solar es la fracción de la irradiancia solar incidente sobre una ventana que ingresa al espacio interior. La transmitancia visible es una propiedad óptica que indica la cantidad de luz visible transmitida a través del vidriado.

Si bien existen numerosos estudios sobre las ventanas de alta performance (Granzotto et al., 2017; Jelle et al., 2012; Buratti, Moretti y Zinzi, 2017) y las estrategias para mejorar la transmitancia térmica de los marcos (Appelfeld, Hansen y Svendsen, 2010; Lechowska, Schnotale y Baldinelli, 2017; Van Den Bossche, Buffel y Janssens., 2015; Zajas y Heiselberg, 2014; N. Cardinale, Rospi y T. Cardinale, 2015), que suelen ser el principal puente térmico de las carpinterías, se encuentra poca información sobre las ventanas de baja eficiencia energética, a pesar de su uso extensivo en varias regiones del mundo, principalmente, en las economías emergentes (International Energy Agency, 2013).

Entre estos últimos destaca un amplio estudio sobre la eficiencia energética de las ventanas utilizadas en India, conducido por Rawal et al. (2013). En él se calcularon las propiedades térmicas y ópticas de un conjunto de ventanas de diferentes características para unas dimensiones estándares, para concluir que el material y la tipología de los marcos tienen un impacto significativo en la performance de las ventanas, resaltando la importancia de evaluar la ventana en su conjunto, y no solamente el vidriado.

Medina Agreda (2009), por su parte, abordó la transferencia de calor en marcos de ventanas diseñados en México. Seleccionó ocho tipos de marcos de ventanas característicos de las edificaciones mexicanas (de aluminio, chapa plegada, madera y PVC) y los analizó mediante el uso del programa de conducción de calor THERM, con un vidrio claro de 6 mm insertado en ellos (a excepción de los marcos de PVC). Obtuvo así valores de factor K comprendidos entre 2.5 W/m<sup>2</sup>K (abatible de PVC) y 5.0 W/m<sup>2</sup>K (corrediza de chapa plegada) para las condiciones climáticas de los diferentes Estados de México. Los valores de factor solar para las ventanas estudiadas se ubicaron entre 0.60 (marco de madera) y 0.69 (corrediza de aluminio).

De Gastines, Villalba y Pattini (2016) caracterizaron las ventanas corredizas de aluminio sin ruptura de puente

térmico (RPT) en Argentina y advirtieron que sus valores de transmitancia térmica de marco son muy elevados (9.8 W/m<sup>2</sup>K en promedio), debido a su baja compacidad. Combinados con vidrios simples, resultan en carpinterías muy ineficientes, con factores K del orden de los 7 W/m<sup>2</sup>K.

En los países como Argentina, donde las ventanas son de baja performance, hay un elevado potencial de ahorro energético asociado a la selección de aberturas. Sin embargo, muchas veces, las decisiones al momento de elegir los componentes de las viviendas se ven influenciadas por cuestiones económicas. Los consumidores se encuentran con opciones de vidriados eficientes y de marcos aislantes, los que pueden encarecer significativamente los componentes. Por lo tanto, surge la duda de conocer el impacto de estas decisiones sobre la eficiencia de la ventana.

En respuesta a esta problemática, se han desarrollado, en algunos países, sistemas de certificación energética de ventanas, que evalúan la eficiencia de las ventanas mediante un balance energético, basado en los índices K y FS, generalmente calculados para unas dimensiones estándares. Sin embargo, dichos índices varían en función de distintos parámetros, como las dimensiones de la ventana y el ancho del marco, que definen la relación de superficie entre el vidriado y las diferentes secciones del marco.

Otro parámetro que influye en el valor del factor solar de las ventanas es la absorptancia solar del marco, que se modifica según el acabado del mismo. Aunque se suele despreciar la contribución del marco al factor solar de la ventana, los marcos de alta conductancia pueden tener un factor solar relativamente elevado, el cual depende además de su absorptancia solar (Wright y McGowan, 1999).

El objetivo de este trabajo consiste en establecer un panorama de las propiedades energéticas de las ventanas en Argentina, y analizar el impacto de diferentes parámetros (dimensiones, tipología, material y absorptancia solar del marco) sobre los índices térmicos de las ventanas, con el fin de definir criterios para la selección de ventanas energéticamente eficientes.

## MÉTODOS

### METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LOS ÍNDICES ENERGÉTICOS

La transmitancia térmica de la ventana depende de la transmitancia térmica del marco ( $K_m$ ), la del vidriado ( $K_v$ ) y de los efectos de borde ( $K_b$ ) entre ambas partes. Asimismo, el factor solar y la transmitancia visible se calculan como el promedio ponderado de los índices respectivos del marco y del vidriado.

Para el cálculo del factor K de los marcos y del borde, se utilizó el programa de cálculo bidimensional de

transferencias de calor THERM 6.3, una herramienta útil y confiable para el cálculo de la transmitancia térmica (Held, Alías y Jacobo, 2017; De Gastines, Correa y Pattini, 2018) basada en el método de los elementos finitos. Se consideraron cavidades parcialmente ventiladas y un modelo radiativo detallado de ambos lados del marco, de acuerdo a los criterios de simulación descritos en De Gastines, Correa y Pattini (2018). Se calculó el factor solar de los marcos mediante la ecuación siguiente (Wright y McGowan, 1999; De Gastines y Pattini, 2017):

$$FS_m = \alpha_m \cdot K_m \cdot \frac{X_o}{h_o}$$

Donde:  $\alpha_m$  es la absorptancia solar del marco,  $X_o$  es la compacidad exterior del marco (i.e. la fracción entre el ancho del marco y la longitud del perfil) y  $h_o$  es el coeficiente pelicular exterior.

La transmitancia visible de los marcos es nula. La transmitancia térmica, el factor solar y la transmitancia visible de los vidriados se determinaron con el programa WINDOW 6.3, que permite calcular los índices energéticos de las ventanas mediante algoritmos unidimensionales de transferencia de calor.

### Condiciones de borde

Se definieron condiciones de borde para el cálculo de los índices energéticos. Las mismas deben ser representativas de las condiciones climáticas a las cuales la ventana estará sometida, para que los índices reflejen adecuadamente la magnitud de los flujos de energía a través de la ventana.

De acuerdo al Instituto Geográfico Nacional de Argentina, la población total de Buenos Aires (18,515,235 habitantes) representaba el 46% de la población total Argentina en el censo de 2010 (40,117,096 habitantes)<sup>1</sup>. Dado que la cantidad de habitantes se relaciona con la cantidad de viviendas y, por ende, de aberturas, se definieron las condiciones de borde utilizando los datos climáticos detallados en la norma IRAM 11603 (2012) correspondientes a la localidad de Buenos Aires. Se consideró una temperatura exterior igual a la temperatura media de invierno, una temperatura interior de 21°C, y unas temperaturas medias radiantes iguales a la temperatura del aire. En cuanto al coeficiente convectivo interior, se seleccionó el coeficiente indicado en la NFRC para ventanas de aluminio (3.29 W/m<sup>2</sup>K) y se calculó el coeficiente convectivo exterior a partir de la velocidad de viento promedio de invierno, utilizando el modelo de Kimura para cuarto piso<sup>2</sup> y promediando el coeficiente

$T_o$	$T_{ro}$	$h_{co}$	$T_i$	$T_{ri}$	$h_{ci}$
12.9°C	12.9°C	9.33 W/m <sup>2</sup> K	21°C	21°C	3.29 W/m <sup>2</sup> K

Tabla 1. Condiciones de borde empleadas para el cálculo de los índices energéticos. Fuente: Elaboración de las autoras.

barlovento y sotavento. Dicho modelo fue elegido por ser el que mejor se ajusta a los datos experimentales de Yazdanian y Klems (1994).

## SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

### Criterios y metodología de selección

La selección de la muestra de ventanas se fundamentó en dos criterios principales:

- **Relevancia**  
Se estiman relevantes los productos con protagonismo pasado, actual o futuro en el mercado. Por un lado, se busca incluir en el estudio los productos más vendidos en la actualidad. Por otro, es pertinente tomar en cuenta las tecnologías que fueron predominantes en el pasado, ya que todavía están presentes en gran parte de los edificios existentes. Finalmente, es necesario considerar las tecnologías novedosas, que tienen un potencial de mayor ahorro energético. Estos productos son especialmente relevantes en el marco del estudio propuesto y, si bien su uso está limitado todavía, es probable que se difunda durante la próxima década.
- **Comportamiento energético**  
Se busca establecer una muestra representativa del conjunto de combinaciones posibles de índices energéticos K, FS, y TV. Los casos de estudio deben diferenciarse entre ellos y cubrir el rango de eficiencia energética.

De acuerdo a estos criterios, se realizó una selección preliminar de marcos y de vidriados por separado.

#### Selección preliminar de marcos

De acuerdo al criterio de relevancia, se seleccionaron varias tipologías de marcos de aluminio sin RPT (ampliamente mayoritario en el mercado actual) pero se incluyeron también alternativas de aluminio con RPT y de PVC, que tienen mayor potencial de ahorro energético. Se contempló, también, una abertura de madera y una abertura de chapa ya que, a pesar de ser tecnologías en vía de desaparición, todavía se encuentran en las construcciones existentes.

[1] Véase: <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/Poblacion>  
 [2] barlovento:  $h_{co} = 6.22 + 1.824 \cdot v$  - sotavento:  $h_{co} = 6.22 + 0.4864 \cdot v$

Código	Material	Tipología	$H_m$ (mm)	$X_o$	$X_i$	$K_m$ (W/m <sup>2</sup> K)
AC	Aluminio	Corrediza	99	0.560	0.604	7.37
AA	Aluminio	Abrir	94	0.885	0.710	5.98
AF	Aluminio	Paño fijo	45	0.818	0.625	6.99
RC	Alu c/ RPT	Corrediza	111	0.471	0.619	4.26
RA	Alu c/ RPT	Abrir	109	0.887	0.785	3.50
PC	PVC	Corrediza	125	0.641	0.656	2.49
PA	PVC	Abrir	163	0.844	0.794	2.17
PF	PVC	Paño fijo	63	0.812	0.767	2.48
CC	Chapa	Corrediza	67	0.348	0.362	7.18
MA	Madera	Abrir	103	0.757	0.715	1.88

Tabla 2: Características de los marcos seleccionados, su ancho  $H_m$ , sus factores de compacidad  $X_i$  y  $X_o$ , y sus índices  $K_m$ .  
 Fuente: Elaboración de las autoras.

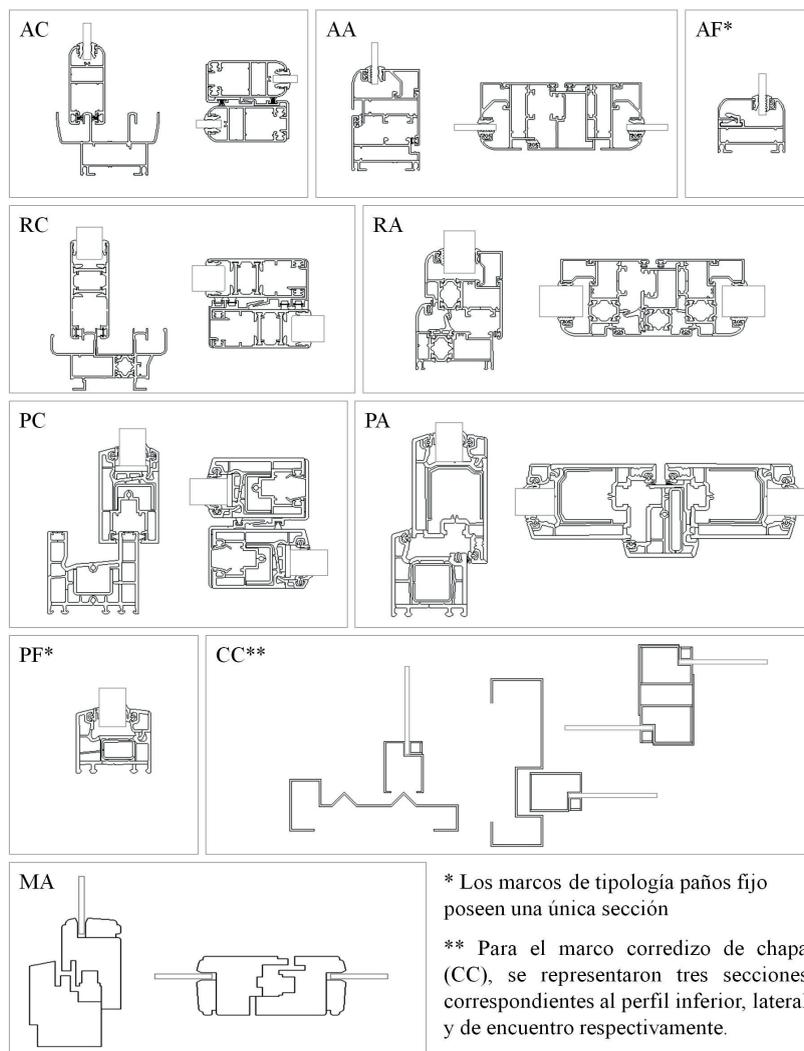


Figura 1. Secciones características (perfil inferior y perfil de encuentro) de los marcos seleccionados.  
 Fuente: Elaboración de las autoras.

N°	Elementos	$K_v$			$FS_v$			$TV_v$		
		mín.	prom.	máx.	mín.	prom.	máx.	mín.	prom.	máx.
1	49	1.30	1.70	2.04	0.236	0.337	0.451	0.269	0.408	0.599
2	5	4.36	4.45	4.53	0.817	0.839	0.873	0.869	0.885	0.899
3	12	1.72	2.14	2.63	0.197	0.248	0.296	0.070	0.146	0.196
4	15	2.45	2.61	2.73	0.387	0.447	0.530	0.320	0.439	0.587
5	13	1.71	2.26	2.66	0.645	0.719	0.779	0.730	0.785	0.840
6	18	1.35	1.92	2.73	0.390	0.498	0.638	0.495	0.609	0.684
7	3	4.02	4.20	4.49	0.359	0.388	0.405	0.085	0.167	0.217
8	6	4.30	4.46	4.49	0.498	0.586	0.653	0.370	0.544	0.764

Tabla 3. Características de los ocho conglomerados: cantidad de elementos, valores mínimos, promedio y máximo de  $K_v$ ,  $FS_v$  y  $TV_v$ .  
 Fuente: Elaboración de las autoras.

En cuanto a la selección de tipologías, las corrediza, de abrir (rotación sobre eje vertical lateral) y paño fijo (hoja sellada al marco) son las más frecuentes.

Las tipologías guillotina y proyectante (rotación sobre eje horizontal), además de ser menos vendidas, generalmente están asociadas a dimensiones de abertura más pequeñas, por lo que su comportamiento energético cobra menos relevancia a escala edilicia. En consecuencia, no se incluyeron en el análisis.

A partir del criterio energético, se procuró cubrir el rango posible de valores de transmitancia térmica (índice más relevante para los materiales opacos). Esto se logró variando las conductividades térmicas de los materiales y los niveles de compacidad de los perfiles. En particular, se seleccionó un marco de aluminio sin RPT corredizo (material muy conductor y perfil poco compacto) y un marco de PVC de paño fijo (poco conductor y muy compacto), para cubrir todo el rango existente de transmitancia térmica.

Se buscó variar el ancho del perfil, de manera de tener la posibilidad de comparar diferentes proporciones entre superficies opaca y transparente, para unas dimensiones dadas de ventana. En el caso del aluminio y del PVC, se escogió una tipología paño fijo (ancho mínimo) y otra (de abrir o corrediza) de ancho más elevado.

La Figura 1 muestra los perfiles característicos de los marcos seleccionados, mientras que la Tabla 2 indica sus características (ancho  $H_m$ , calculado como el promedio ponderado de los anchos de cada sección del marco, y factores de compacidad) y los valores de  $K_m$  para las dimensiones 1.5 x 1.2 m y las condiciones de entorno definidas en la Tabla 1. Se comprueba que los valores de  $K_m$

están bien distribuidos (en el rango [1.88; 7.37]), así como los anchos de marcos (45 a 163 mm) y valores de compacidad (entre 0.348 y 0.885).

### Selección preliminar de vidriados

Los vidriados más frecuentemente utilizados son el vidriado simple float claro de 4 mm, el laminado 3+3 (dos paños de 3 mm separados por una lámina de butiral de polivinilo o PVB) y el doble vidriado hermético (DVH) float claro 4-9-4 (dos paños de 4 mm de espesor separados por una cámara de aire de 9 mm de espesor). No obstante, existe una gran diversidad de vidrios disponibles, que cambian significativamente en cuanto a sus propiedades térmicas y lumínicas. Con el propósito de limitar la cantidad de pares marco/vidriado a simular, se realizó un análisis de conglomerados para diferenciar los vidrios disponibles y seleccionar casos bien distintos entre ellos.

Se emplearon los datos de la empresa VASA<sup>3</sup> para definir la lista de vidriados disponibles en el mercado en las configuraciones siguientes: 4, 6, 8, 3+3, 4+4, 4-9-4, 4-9-3+3, 4-12-4, 6-9-6, 6-12-3+3. Se obtuvo un total de 121 vidriados. Luego, se simuló los vidriados en WINDOW, utilizando las condiciones de entorno definidas en la tabla 1, y se calcularon sus índices  $K_v$ ,  $FS_v$  y  $TV_v$ .

### Análisis de conglomerados.

Mediante un análisis de conglomerados jerárquico en Infostat, se clasificaron los 121 vidriados en ocho conglomerados, en base a las tres variables estandarizadas  $K_v$ ,  $FS_v$  y  $TV_v$  y aplicando la distancia euclidiana y el método del encadenamiento promedio. La Tabla 3 resume las características de los ocho conglomerados obtenidos aquí.

[3] [www.vasa.com.ar](http://www.vasa.com.ar)

Cód.	Designación	SV/DVH	Tono	Ancho	Congl	K <sub>v</sub>	FS <sub>v</sub>	TV <sub>v</sub>
#1	Float 4	SV	claro	4 mm	2	4.53	0.873	0.899
#2	Tints ab 6	SV	azul	6 mm	8	4.49	0.559	0.526
#3	CLSTB120 6	SV	turquesa	6 mm	7	4.08	0.399	0.217
#4	Low-E 6	SV	claro	6 mm	5	2.56	0.717	0.819
#5	Eclipse eg 6	SV	verde	6 mm	4	2.73	0.401	0.478
#6	Float 4-9-4	DVH	claro	17 mm	5	2.66	0.778	0.813
#7	CLKNT164 6-9-6	DVH	neutro	21 mm	6	1.96	0.470	0.572
#8	Tints ab 6-9-6	DVH	azul	21 mm	4	2.63	0.430	0.467
#9	CLST120 Low-E 6-9-6	DVH	plateado	21 mm	3	1.95	0.232	0.169
#10	Tints Low-E ab 6-9-6	DVH	azul	21 mm	1	1.78	0.364	0.433

Tabla 4. Vidriados seleccionados con sus características (simple vidriado o doble vidriado hermético, tono, ancho, número de conglomerado) e índices K<sub>v</sub>, FS<sub>v</sub> y TV<sub>v</sub>. Fuente: Elaboración de las autoras.

Los conglomerados 1, 4 y 6 son los que más elementos contienen y sus rangos de valores K<sub>v</sub>, FS<sub>v</sub> y TV<sub>v</sub> se solapan. El conglomerado 2 contiene los vidriados simples float claros y se caracteriza por sus altos valores de K<sub>v</sub> (superiores a 4.36 W/m<sup>2</sup>K) y FS<sub>v</sub> (superiores a 0.869). Los conglomerados 7 y 8 están compuestos por vidriados simples reflectivos y de color, de K<sub>v</sub> superiores a 4.02 W/m<sup>2</sup>K, y diferenciados por sus valores de FS<sub>v</sub> (inferiores a 0.405 para el conglomerado 7, comprendidos entre 0.485 y 0.653 para el 8). El conglomerado 3 incluye los DVH, con un K<sub>v</sub> inferior a 2.73 W/m<sup>2</sup>K y una TV<sub>v</sub> muy baja (inferior a 0.196). Y el conglomerado 5 contiene los vidriados con un K<sub>v</sub> inferior a 2.73 W/m<sup>2</sup>K y un FS<sub>v</sub> superior a 0.645.

Se intentó seleccionar como mínimo un vidriado dentro de cada conglomerado para obtener una muestra representativa del conjunto de vidriados disponibles en el mercado. De esa forma, se optó prioritariamente por el simple vidriado float claro de 4 mm y el DVH float claro 4-9-4, que pertenecen a los conglomerados 2 y 5, respectivamente, por constituir las opciones más vendidas.

Para el resto de los conglomerados, se elaboraron matrices de distancia euclidiana con el objetivo de elegir el elemento más representativo de cada conglomerado (es decir, el que presenta la menor distancia con el resto de los elementos del conglomerado).

Los conglomerados 4, 5 y 6 incluyen principalmente DVH, pero también algunos vidriados simples. Considerando que existen en el mercado marcos que admiten únicamente vidriados simples, es interesante poder lograr propiedades similares a las de un DVH con un vidriado

simple. Por este motivo, se seleccionó el vidrio Low-e de 6 mm (conglomerado 5) y el vidrio "Eclipse evergreen" de 6 mm (conglomerado 4), adicionalmente a los DVH más representativos de cada conglomerado. En total, se obtuvo una muestra de diez vidriados, cuyas propiedades se detallan en la Tabla 4.

### Metodología de análisis

A partir de las muestras de marcos y vidriados seleccionadas, se construyeron ventanas teniendo en cuenta la compatibilidad entre el galce<sup>4</sup> del marco y el ancho del vidriado, y como también los diferentes tamaños de abertura (0.6 x 1.1 m, 1.5 x 1.2 m y 1.8 x 1.5 m). Asimismo, se consideraron dos valores de absorción solar de marcos: 0.3 (marcos blancos) y 0.9 (marcos oscuros).

Por último, se calcularon los índices K, FS y TV de las ventanas así definidas, utilizando las condiciones de entorno establecidas anteriormente (Tabla 1).

## RESULTADOS

Las Figuras 2, 3 y 4 ilustran las variaciones de los diferentes índices en función de las dimensiones de la ventana, considerando una absorción solar de 0.3 (pintura blanca) para todos los marcos. Exponen, además, los valores de los índices correspondientes al marco y al vidriado, respectivamente.

Se observa que los valores de transmitancia térmica del conjunto tecnológico varían entre 1.88 y 6.00 W/m<sup>2</sup>K. Para

[4] Espacio disponible para encajar el vidriado.

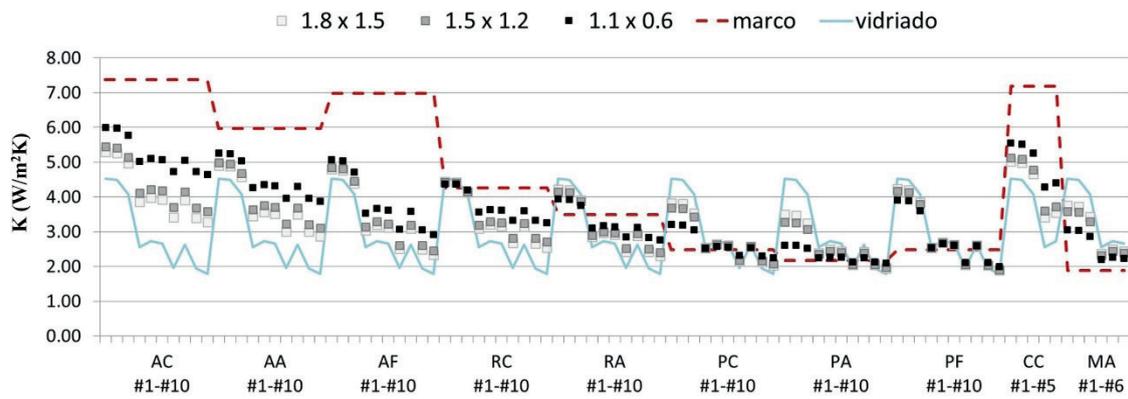


Figura 2. Valores de K del conjunto tecnológico, para diferentes dimensiones de ventana. Fuente: Elaboración de las autoras.

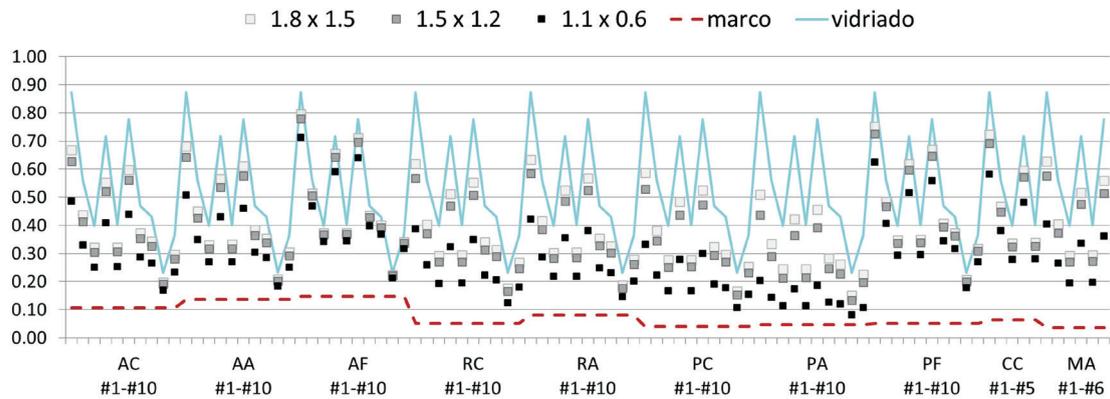


Figura 3. Valores de FS del conjunto tecnológico, para diferentes dimensiones de ventana. Fuente: Elaboración de las autoras.

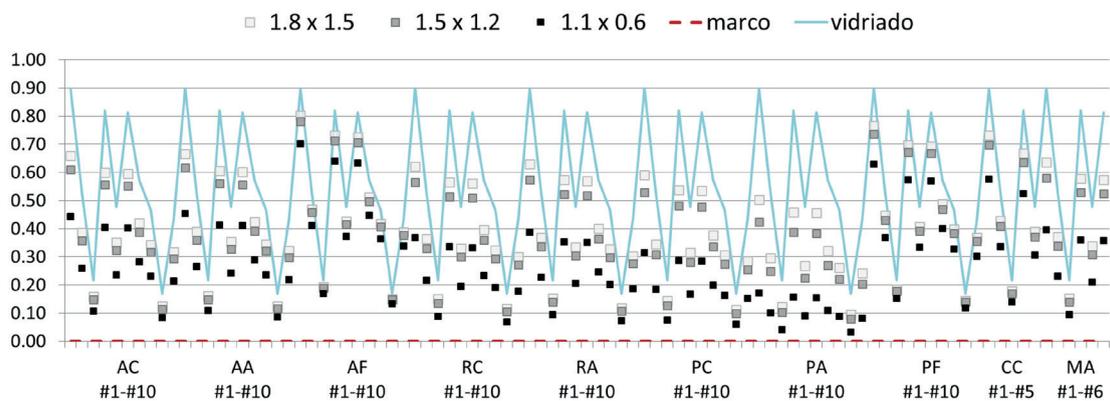


Figura 4. Valores de TV del conjunto tecnológico, para diferentes dimensiones de ventana. Fuente: Elaboración de las autoras.

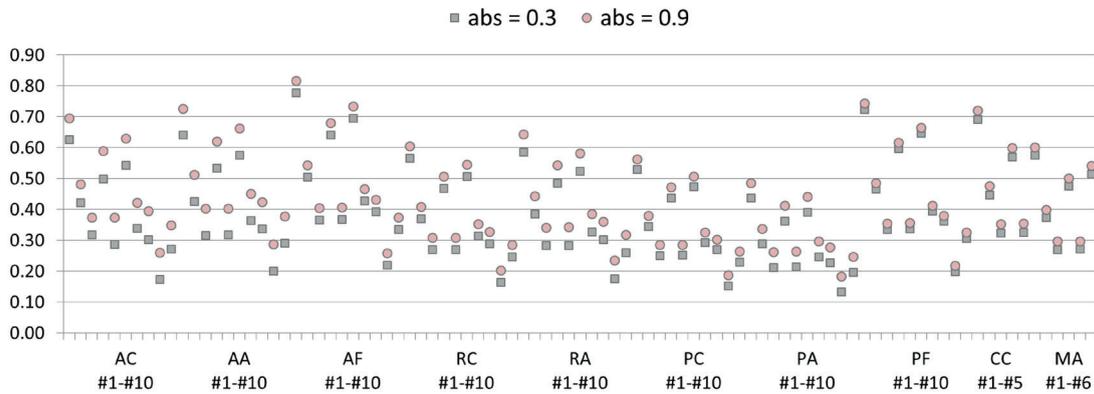


Figura 5. Impacto de la absorptancia solar del marco sobre los valores de FS de las ventanas. Fuente: Elaboración de las autoras.

unas determinadas dimensiones de abertura, los valores máximos de K corresponden a las ventanas con marco de aluminio y chapa asociado a los vidriados #1, #2 y #3 (compuestos por materiales de elevada conductividad). Los valores mínimos se obtienen para las ventanas con marco de PVC combinado con los vidriados #7, #9 y #10 (DVH con capa reflectiva, de control solar y/o baja emisividad).

La tipología influye de manera significativa en el valor de K. En el caso del aluminio, la tipología paño fijo es la que tiene valores de K más bajos debido a su ancho reducido ( $K_v$  es inferior a  $K_m$ ), mientras que la tendencia se invierte para los marcos de PVC asociados a vidrios poco aislantes ( $K_v$  es superior a  $K_m$ ).

El valor del factor K se ve influenciado por las dimensiones de la ventana principalmente en los casos que presentan un gran contraste entre  $K_v$  y  $K_m$ , alcanzando diferencias relativas del orden del 30% entre las dimensiones 0.6 x 1.1 m y 1.8 x 1.5 m (ventanas AC7-9-10 y PA1-2-3). Sin embargo, estas diferencias se mantienen por debajo del 8% entre las dimensiones 1.5 x 1.2 m y 1.8 x 1.5 m.

En promedio, la estrategia que consiste en reemplazar un marco de aluminio por un marco de PVC de misma tipología, significa una reducción del valor de K del 42% para ventanas de dimensiones 0.6 x 1.1 m, y del 26% para ventanas de 1.8 x 1.5 m. Igualmente, la estrategia que consiste en reemplazar el simple vidriado claro por un DVH float claro resulta en una mejora en el factor K del 22% para las dimensiones 0.6 x 1.1 m, y del 32%, para ventanas de 1.8 x 1.5 m; y reemplazando el simple vidriado claro por el doble vidriado de control solar y low-e (#10), se logra una reducción de K del 31% y del 46% para las dimensiones 0.6 x 1.1 m y 1.8 x 1.5 m, respectivamente. Por lo tanto, si el usuario, para bajar la transmitancia de su ventana (típicamente en clima frío), tuviera que elegir entre un vidriado eficiente y un marco eficiente, por cuestiones económicas, la mejor estrategia depende de

las dimensiones de la abertura. En los ejemplos analizados, se observó que en el caso de una ventana chica (0.6 x 1.1 m) el material y la tipología del marco determinan en gran medida el valor de la transmitancia térmica de la ventana completa, mientras que en el caso de una ventana grande (1.8 x 1.5 m), conviene invertir en un vidriado eficiente.

En cuanto al factor solar y a la transmitancia visible, su valor máximo es de 0.80 (ventana AF1, dimensiones 1.8 x 1.5) y su valor mínimo, de 0.08 y 0.03, respectivamente (ventana PA9, dimensiones 0.6 x 1.1 m). Para unas dimensiones dadas, los valores más altos se obtienen para los marcos esbeltos (AF, PF y CC) asociados a los vidriados claros (#1, #4 y #6), y dentro de los valores más bajos destacan los casos que incluyen el vidriado #9, así como el marco de PVC de tipología de abrir (por tener el máximo ancho y un  $K_m$  bajo).

Se distinguen diferencias relativas importantes (24 y 30 %) entre los índices FS y TV de las aberturas con dimensiones 0.6 x 1.1 m y 1.5 x 1.2 m, respectivamente, mientras que estas diferencias se acortan entre las dimensiones 1.5 x 1.2 m y 1.8 x 1.5 m (6 y 8 %). Incluso, la clasificación de las ventanas en función del factor solar se puede modificar de acuerdo a las dimensiones de las mismas. Por ejemplo, el factor solar de la ventana de PVC de abrir con vidriado #10 (PA10) es de 0.204 cuando las dimensiones son 0.6 x 1.1 m, y es de 0.510 cuando son de 1.8 x 1.5 m. En cuanto a la ventana de aluminio sin RPT, tipología paño fijo, asociada al vidriado 7 (AF7), su factor solar no cambia sensiblemente al modificar las dimensiones (0.399 contra 0.436). En consecuencia, para localidades en las que predomina la demanda de refrigeración sobre la de calefacción, donde el factor solar de las ventanas es una herramienta esencial de mitigación del sobrecalentamiento de los espacios interiores, y considerando las dimensiones 0.6 x 1.1 m, es más eficiente la ventana PA10 que la AF7; mientras que para las dimensiones 1.8 x 1.5 m, es más eficiente la ventana AF7 que la PA10.

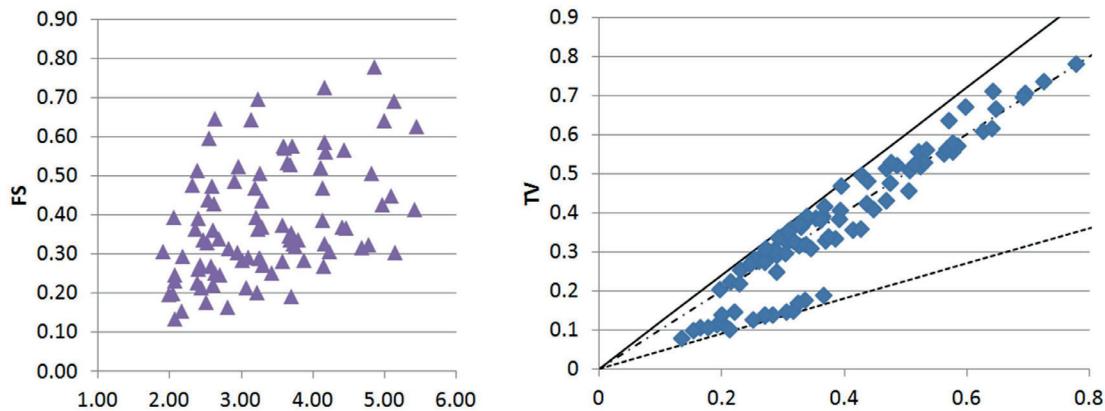


Figura 6. Dispersión entre los índices K y FS (gráfico izquierdo) y dispersión entre los índices FS y TV (gráfico derecho).  
Fuente: Elaboración de las autoras.

La Figura 5 representa las variaciones del FS de acuerdo a la absorptancia solar del marco (para ventanas de dimensiones 1.5 x 1.2 m). Se observan diferencias relativas significativas para los marcos de aluminio corredizo y de abrir (24 %), y para los marcos de aluminio con RPT y PVC de abrir (18 y 21 %). Esto se explica por la combinación entre una elevada conductancia (sobre todo para los primeros) y la fracción importante que representa la superficie relativa del marco (entre 26 y 43%).

La Figura 6 muestra los gráficos de dispersión entre los índices K y FS de las ventanas estudiadas, para las dimensiones 1.5 x 1.2 m. Indica que existe una buena diversidad de combinaciones (K, FS) que permiten elegir ventanas con diferentes características según el clima y la orientación de la fachada. Sin embargo, se advierte que las ventanas difícilmente combinan un factor K bajo con un factor solar elevado (el caso óptimo para lograr estas características es la ventana PF6, de PVC tipología paño fijo con DVH claro, que obtiene un K de 2.63 W/m<sup>2</sup>K y un FS de 0.65).

En cuanto a la selectividad de las ventanas, que se refiere a la relación entre la transmitancia visible y el factor solar, esta se encuentra entre 0.45 y 1.2: los valores mínimos corresponden a las ventanas con simple vidrio de control solar (#3) y los valores máximos, a ventanas con vidrioado doble de control solar (#7), especialmente a la tipología paño fijo, por su ancho reducido.

## CONCLUSIONES

Los valores de transmitancia térmica de las ventanas disponibles en el mercado argentino tienen una amplia distribución (desde 6.00 hasta 1.88 W/m<sup>2</sup>K). La transmitancia térmica de la ventana puede ser reducida en hasta un 70%

con respecto a la ventana más comúnmente utilizada. No obstante, incluso las ventanas más aislantes tienen factores K elevados en comparación con las tecnologías existentes en otros países, que alcanzan valores de transmitancia térmica inferiores a 0.8 W/m<sup>2</sup>K (Jelle et al., 2012).

En cuanto a los valores de factor solar, se obtiene una escala amplia (desde 0.08 hasta 0.80), con una buena dispersión en relación a los valores de transmitancia térmica, lo cual permite seleccionar la ventana adecuada según la estrategia de ahorro energético en función del clima y de la orientación.

Es interesante notar que el color del marco (asociado a un determinado valor de absorptancia solar) puede incidir en hasta un 24% en el valor del FS total de la ventana, lo cual indica que el marco no solo influye en el FS por la reducción de la superficie transparente, sino que también por su factor solar propio, especialmente para los marcos de alta conductancia.

Los índices de transmitancia visible obtenidos evidencian cierto grado de correlación con el factor solar (valores de selectividad comprendidos entre 0.45 y 1.2); de ahí que limitar el factor solar de las ventanas (para evitar el sobrecalentamiento en climas cálidos) implique limitar también el aprovechamiento de la luz natural para iluminación.

Las variaciones de los índices K, FS y TV, de acuerdo con las dimensiones de la ventana, pueden ser significativas. Por este motivo, un sistema de certificación de eficiencia energética de ventanas no debería utilizar dimensiones estándares. Destaca aquí la importancia del marco en las ventanas de dimensiones reducidas (en nuestro ejemplo de 0.66 m<sup>2</sup>), que ocupa entre 22 y 68% de la superficie total de la ventana según el ancho que tiene, por lo que su elección influye significativamente los valores de los índices energéticos de la ventana. En cambio, para las

ventanas con una elevada superficie vidriada (en nuestro ejemplo de 2.7 m<sup>2</sup>), el enfoque deberá estar puesto prioritariamente en la tecnología del vidriado. Para las ventanas de dimensiones medianas (en nuestro ejemplo 1.8 m<sup>2</sup>), ambos componentes deberán ser elegidos cuidadosamente.

Las estrategias para mejorar la eficiencia energética del hábitat construido en relación a las tecnologías de ventana dependen del clima y de la orientación de la fachada. En función de estos parámetros se valorarán valores bajos o altos de los índices energéticos de las ventanas. Los resultados de esta investigación constituyen un aporte al hábitat sustentable, ya que presentan un panorama de las propiedades energéticas de las tecnologías de ventanas disponibles en Argentina, a partir del cual es posible elegir las tecnologías más eficientes desde el punto de vista energético, de acuerdo al contexto edilicio y geográfico analizado. En futuros desarrollos de este trabajo se buscará determinar cuáles son los índices energéticos de ventana ideales para diferentes configuraciones edilicias y zonas climáticas.

## AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina – Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica. Proyectos PICT 2016-1487. Pres. BID y PIP 0728 – CONICET.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, Jahangir y ISLAM, Mohamed A. Effect of external shading and window glazing on energy consumption of buildings in Bangladesh. *Advances in Building Energy Research*, 2016, vol. 11, n° 2, pp. 1-13.

ALWETAISHI, Mamdooh. Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 2017, vol. 31, n° 1, pp. 6-18.

APPELFELD, David; HANSEN, Christian S. y SVENDSEN, Svend. Development of a slim window frame made of glass fibre reinforced polyester. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, n° 10, pp. 1918-1925.

BURATTI, Cinzia; MORETTI, Elisa y ZINZI, Michele. High energy-efficient windows with silica aerogel for building refurbishment: experimental characterization and preliminary simulations in different climate conditions. *Buildings*, 2017, vol. 7, n° 1, p.8.

CARDINALE, Nicola; ROSPI, Gianluca y CARDINALE, Tiziana. Numerical and experimental thermal analysis for the improvement of various types of windows frames and rolling-shutter boxes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 2015, vol. 6, n° 2, pp. 101-110.

DE GASTINES, Maureen; CORREA, Érica y PATTINI, Andrea. Window frame thermal performance simulation. Suitable methods according to climate and technology. *Journal of Construction*, 2018, vol. 17, n° 1, pp. 112-122.

DE GASTINES, Maureen y PATTINI, Andrea. Cálculo de precisión del factor solar de ventanas. En: *XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2017, vol. 5, pp. 08.167-08.175.

DE GASTINES, Maureen; VILLALBA, Ayelén y PATTINI, Andrea. Improved model for the thermal performance calculation of non-planar window frames for building simulation programs. *Journal of Building Performance Simulation*, 2016, vol. 9, n° 6, pp. 633-647.

GRANZOTTO, Nicola; BETTARELLO, Federica; FERLUGA, Alessio; MARSICH, Lucia; SCHMID, Chiara; FAUSTI, Patrizio y CANIATO, Marco. Energy and acoustic performances of windows and their correlation. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 136, pp. 189-198.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. IRAM 11603: Acondicionamiento térmico de edificios. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Technology Roadmap - Energy efficient building envelopes. International Energy Agency, 2013.

JELLE, Bjørn Petter; HYND, Andrew; GUSTAVSEN, Arild; ARASTEH, Dariush; GOUDEY, Howdy y HART, Robert. Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 96, pp. 1-28, 2012.

LECHOWSKA, Agnieszka A.; SCHNOTALE, Jacek A. y BALDINELLI, Giorgio. Window frame thermal transmittance improvements without frame geometry variations: an experimentally validated CFD analysis. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 145, p. 188-199.

MEDINA AGREDA, Iván. *Estudios de Transmisión de Calor en Marcos de Ventanas de Edificios Diseñados en México*. Tesis doctoral, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, 2009.

RAWAL, Rajan; DIDWANIA, Srijan; SHUKLA, Yash; MANU, Sanyogita y PANCHAL, Purvi. Deployment of energy simulation for design of voluntary window labeling program in India. En: *Proceeding of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 2013.

SHARDA, Anuranjan y KUMAR, Sudhir. Statistical evaluation of u-value of a window with inter-pane blinds. *International Journal of Ambient Energy*, 2016, vol. 37, n° 4, pp. 384-397.

THALFELDT, Martin; KURNITSKI, Jarek y VOLL, Hendrik. Detailed and simplified window model and opening effects on optimal window size and heating need. *Energy and Buildings*, 2016, vol. 127, pp. 242-251.

TRZASKI, Adrian y RUCINSKA, Joanna. Energy labeling of windows—possibilities and limitations. *Solar Energy*, 2015, vol. 120, pp. 158-174.

VAN DEN BOSSCHE, Nathan, BUFFEL, Lisa y JANSSENS, Arnold. Thermal optimization of window frames. *Energy Procedia*, 2015, vol. 78, pp. 2500-2505.

VENHAUS-HELD, Manuel; ALÍAS, Herminia María y JACOBO, Guillermo José. Las envolventes constructivas en la construcción no convencional de edificios del nordeste argentino y el problema de los puentes térmicos. *Hábitat Sustentable*, 2017, vol. 7, n° 1, pp. 24-31.

WRIGHT, John L. y MCGOWAN, Alexander. Calculating the solar heat gain of window frames. *ASHRAE Transactions*, 1999, vol. 105, n° 2, pp. 1011-21.

YAZDANIAN, Mehrangiz y KLEMS, Joseph. Measurement of the exterior convective film coefficient for windows in low-rise buildings. *ASHRAE Transactions*, 1994, vol. 100, Part 1.

ZAJAS, Jan y HEISELBERG, Per. Parametric study and multi objective optimization of window frame geometry. *Building Simulation*, 2014, vol. 7, n° 6, pp. 579-593.





# OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICANDO CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS PÚBLICO EN SAN JUAN-ARGENTINA

Recibido 01/03/2019  
Aceptado 14/06/2019

## ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION THROUGH ADAPTIVE THERMAL COMFORT IN A PUBLIC OFFICE BUILDING IN SAN JUAN, ARGENTINA

Bruno Damián Arballo  
Arquitecto Becario CONICET  
Estudiante de Doctorado del Instituto Regional de Planeamiento  
y Hábitat, Universidad Nacional de San Juan,  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
San Juan Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-6121-549X>  
[arballobruno@gmail.com](mailto:arballobruno@gmail.com)

Ernesto Kuchen  
Doctor  
Investigador y docente, Instituto Regional de Planeamiento y  
Hábitat, Universidad Nacional de San Juan, Consejo Nacional de  
Investigaciones Científicas y Técnicas  
San Juan, Argentina  
<http://orcid.org/0000-0001-6649-6932>  
[ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar](mailto:ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar)

Daniel Chuk  
Doctor  
Docente del Instituto de Investigaciones Mineras, Universidad  
Nacional de San Juan  
San Juan, Argentina  
<https://orcid.org/0000-0003-3171-9571>  
[dchuk@unsj.edu.ar](mailto:dchuk@unsj.edu.ar)

### RESUMEN

Las edificaciones son responsables del 40% de la demanda mundial de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>. En Argentina, los edificios representan más del 40% del consumo total anual de energía. Las estrategias de ahorro de energía pueden provocar disconformidad térmica en los habitantes de los edificios. El objetivo de este trabajo es optimizar las temperaturas de "set point" diarias basadas en los perfiles de ocupación y la evolución del clima exterior para encontrar el equilibrio entre la eficiencia energética y el confort térmico de un edificio de oficinas público en San Juan, Argentina. El modelo tiene en cuenta la capacidad de adaptación térmica de los habitantes considerando la variación de la temperatura exterior. El método propuesto combina el análisis de monitoreo in situ, que introduce datos subjetivos de ocupación, con la herramienta de simulación energética para edificios Energy Plus. Los resultados de la optimización muestran alrededor de un 26% de ahorro de energía, manteniendo condiciones aceptables de confort térmico.

### Palabras clave

eficiencia energética, confort térmico, edificio de oficinas, optimización de edificios, adaptación térmica.

### ABSTRACT

Buildings are responsible for 40% of global energy demand and CO<sub>2</sub> emissions. In Argentina, buildings represent more than 40% of total annual energy consumption. Energy-saving strategies can cause thermal discomfort for building inhabitants. The aim of this research is to optimize daily set point temperatures based on occupancy profiles and changes in outdoor weather to find a balance between energy efficiency and thermal comfort in a public office building in San Juan, Argentina. The model takes into account the thermal adaptation capacity of the inhabitants considering outdoor temperature variation. The proposed method combines spot monitoring analysis, which introduces subjective occupancy data, with the Energy Plus building energy simulation tool. Optimization results show around 26% energy savings, while maintaining acceptable thermal comfort conditions.

### Keywords

energy efficiency, thermal comfort, office buildings, building optimization, thermal adaptation.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las edificaciones representan alrededor del 40% del uso de energía, constituyéndose naturalmente en potenciales escenarios de ahorro de energía y emisiones (Yang y Wang, 2013; Pérez-Lombard, Ortiz y Pout, 2008; Moroşan et al., 2010). El ser humano moderno pasa la mayor parte de su tiempo en ambientes interiores (Van Hoof, Mazej y Hensen, 2010), de un 80% a un 90% (Environmental Protection Agency, 2014). Múltiples investigaciones han validado al confort térmico como una de las variables que mayormente afectan al confort en espacios interiores y a la eficiencia energética de los edificios (Holmes y Hacker, 2007; Pablo-Romero, Pozo-Barajas y Yñíguez, 2017; Derbez et al., 2014; Tweed et al., 2013; Al-Ajmi, 2010; Nguyen, Reiter y Rigo, 2014). Concretamente, según encuestas realizadas en un estudio a más de 1000 empleados de empresas, en Argentina el 41% del tiempo que las personas están despiertas en el día lo destinan a trabajos de oficina (M.I.S Staples, 2012). Así también, diversos estudios internacionales validan la perspectiva de confort térmico adaptativo como estrategia de ahorro de energía fundamental en edificios de oficina (Dounis y Caraiscos, 2009; Chandel, Sharma y Marwah, 2016; Sánchez-García et al., 2017), en la medida en que conduce a ahorros de entre un 30 a un 60%, en especial cuando se tiene en cuenta la evolución del clima exterior.

A nivel local, trabajos anteriores desarrollados en el proyecto PICT2009-0014 Res.N°304/2010, "EEC, Eficiencia Energética y Confort en Espacios de Trabajo", en la ciudad de San Juan Argentina, fundamentan la disconformidad térmica de los habitantes frente a su ambiente laboral. Los perfiles del voto de confort (CV) de los habitantes, tal como se muestra en la Figura 1, indican una sensación térmica de frío (-0,18) para verano, sobre la escala de 7 puntos de ASHRAE (Alonso Frank et al., 2015). La línea de tendencia con pendiente  $b$  (capacidad de adaptación de los habitantes) encontrada para CV en función de la temperatura de neutralidad ( $t_n$ ) es inversamente proporcional a la esperada (Figura 1). La temperatura deseada por los habitantes se encuentra por encima de la temperatura constante que entrega el equipo de climatización (temperatura interior de *set point* en verano), lo cual provoca que el 44% del consumo de energía del edificio estudiado se emplee en restituir la situación de confort de sus habitantes.

Es de especial relevancia considerar la adaptabilidad de los habitantes y las variables climáticas del sitio en tiempo real, especialmente  $t_e$  (temperatura exterior), a fin de delimitar rangos de aceptación y variación de la temperatura interior de *set point* para el correcto funcionamiento de los equipos de climatización. Los sistemas de climatización total requieren de verificación en función a los estándares internacionales para definir su potencia y parámetros de control, pero también de

CONFORT TÉRMICO - VERANO

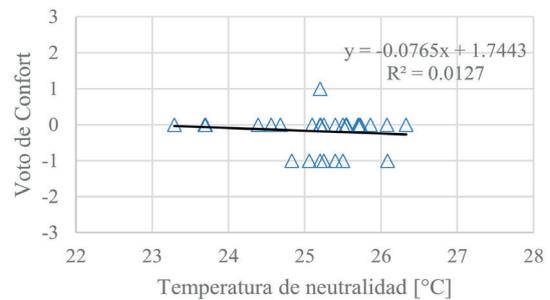


Figura 1. Confort térmico de un día típico de verano para el estudio de caso basado en el análisis de ISSO 7730. Fuente: Elaborado en base a datos publicados en Alonso Frank et al., 2015.

la actualización y validación en base a las exigencias del sitio y a la capacidad de adaptación potencial de los habitantes.

En este sentido, es necesaria una optimización del funcionamiento del edificio (EnBop, 2008) y el desarrollo de métodos de optimización en tiempo real entre eficiencia energética (ahorro energético) y confort térmico de los habitantes.

Estas variables se encuentran en conflicto, dado que un ahorro significativo de energía en el sistema energético de climatización puede resultar en condiciones internas de disconformidad térmica para los habitantes. A su vez, el consumo energético de los edificios depende significativamente de las demandas del ambiente interior, el cual afecta a la salud, rendimiento y confort (Bliuc, Rotberg y Dumitrescu, 2007). El objetivo del presente trabajo es optimizar el *set point* diario de un día típico de verano para una oficina tipo del edificio en estudio, en base a los perfiles de los habitantes y en función de la variación de la temperatura exterior.

A partir del estudio de cada una de estas variables y de datos reales tomados mediante mediciones de campo en los edificios (Kuchen, 2008; Kuchen, Plesser y Fisch, 2012) se definen las características del problema de optimización. Las variables de entrada o funcionales matemáticas necesarios para la optimización se construyen a partir de los modelos de confort térmico y de energía. La aplicación del modelo de optimización adaptativo-variable lleva a ahorros significativos de energía, en equilibrio con un apropiado confort térmico de los habitantes.

Este trabajo de investigación se enmarca dentro de un proyecto de desarrollo social y tecnológico (Proyecto EECOM, 2016) en curso, titulado "Eficiencia Energética y Confort en Edificios Públicos mediante Optimización Multiobjetivo", en la ciudad de San Juan, Argentina.



Figura 2. Izquierda: Fachada Noroeste. Derecha: Fachada Suroeste.  
Fuente: Elaboración de los autores.

## DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El edificio público en estudio, sede de la administración de Obras Sanitarias, Sociedad del Estado (OSSE), se ubica en la ciudad capital de San Juan, en zona bioambiental III-A de Argentina; posee clima templado cálido seco, temperatura exterior media anual de 17,2°C y humedad relativa media del 53% (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRAM 11603, 1996). El inmueble fue construido entre 1957 y 1962, tiene tres niveles y una superficie total de 2455 m<sup>2</sup>.

El edificio está caracterizado por la flexibilidad propia de la arquitectura del movimiento moderno e incorpora criterios de diseño bioclimático en la etapa temprana de proyecto, entre los que sobresalen: orientación del eje longitudinal en dirección Este-Oeste para un óptimo asoleamiento; parasoles móviles en fachada Este y Oeste para el control solar estacional (Figura 2); fachada Norte, con un 19% de superficie vidriada, y Sur (a modo de *courting wall*), con un 72%, que aporta buena iluminación y ventilación natural a los espacios de trabajo. Las aberturas de la fachada Norte son mínimas y el muro, con elevada inercia térmica, permite controlar el ingreso solar del período de verano y servir de muro acumulador en invierno y verano (Figura 2).

Asimismo, el inmueble cuenta con un sistema de climatización total (HVAC) gas/eléctrico, tipo *rooftop*. Del relevamiento *in situ*, se obtiene que el equipo de refrigeración representa el 23,64% y el de calefacción, el 7,45% de la potencia instalada total. Los datos de la demanda y el consumo específicos están descriptos en Alamino et al. (2015). De lo anterior, se advierte que un total del 44% del consumo de energía final del edificio es empleado en restituir la situación de confort del habitante. Cabe indicar que la demanda de energía eléctrica promedio anual del edificio OSSE es de 171

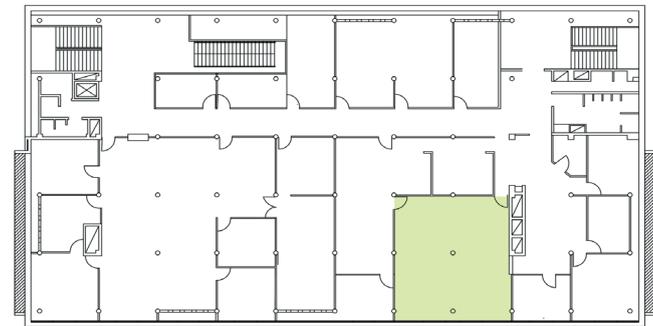


Figura 3. Planta Primer Piso de Edificio OSSE. Oficina seleccionada con orientación Sur. Fuente: Elaboración de los autores.

KWh/m<sup>2</sup>.a (*ibidem*) y el factor de ocupación es de 3m<sup>2</sup>/persona.

En base a los datos de la medición *in situ* (ver punto 5.1) se determina una oficina promedio o tipo del edificio OSSE (72 m<sup>2</sup>) ubicada en el primer piso, con orientación hacia el sur, y se modela en Energy Plus con el propósito de simular y verificar los resultados de optimización para un día típico de verano (Figura 3). Energy Plus es un software de simulación para realizar análisis energéticos y térmicos en edificios. Permite calcular la cantidad de energía requerida para mantener cada espacio modelado o zona térmica a una temperatura específica. Para cada zona térmica se requiere cargar los datos climáticos del lugar, junto con la definición de los parámetros constructivos de la envolvente (muros, puertas y ventanas). También pueden detallarse el equipamiento y aparatos de consumo eléctrico junto con sus rutinas de uso.

La configuración elegida para la simulación se corresponde con la de un "día de diseño". Para la simulación del día de diseño se debe suministrar un grupo de parámetros, tales como temperatura máxima y mínima de bulbo seco exterior, velocidad y dirección del viento, etc. En este estudio, la descripción del edificio y sus cargas internas se mantiene lo más simple posible en aras de evitar una modelización excesiva (Neto y Fiorelli, 2008).

## METODOLOGÍA

### COMBINACIÓN ENTRE MONITOREO *IN SITU* (ESTUDIO DE CAMPO) Y OPTIMIZACIÓN ADAPTATIVA.

En relación a la metodología aplicada, se propone una aproximación experimental mediante un trabajo de campo y una aproximación simulada mediante la optimización. Para obtener soluciones óptimas al problema entre la eficiencia energética y el confort térmico.

Una aproximación experimental a través del trabajo de campo permite la observación *in situ* del edificio y su identificación como "referente" (Kuchen, 2008). El seguimiento del edificio a lo largo de su vida útil, sobre todo en el período de post-ocupación, permite corregir y optimizar el curso de su funcionamiento (EnBop, 2008). Se realiza, de esta forma, un trabajo de campo que incluye mediciones ambientales internas y externas y, en simultáneo, encuestas cortas al usuario en su espacio de trabajo. El relevamiento es de tipo transversal en verano, invierno y período transitorio y se desarrolla en diferentes oficinas elegidas aleatoriamente para cada caso de estudio, distribuidas en todos los niveles y orientaciones posibles (Kuchen, 2008).

Las mediciones se efectúan en los tres períodos desde las 8:00 hasta las 12:00 h, siguiendo un recorrido continuo. El intervalo de medición es de un minuto. En cada espacio de trabajo se consideran 3 minutos para la aclimatación de los sensores, 5 minutos adicionales para la medición y 2 minutos para el traslado del instrumental al siguiente espacio a medir. El sensor móvil se ubica en el plano de trabajo, esto es, a  $0,90 \pm 0,20$  m sobre el nivel de piso terminado. La información objetiva (temperatura interior a bulbo seco y temperatura exterior) se toma por medio de sensores acumuladores de datos tipo Hobo U12-006 (*data logger*). La encuesta empleada se corresponde a la elaborada en Kuchen (2008). La misma posee dos carillas y se refiere a aspectos psicológicos, fisiológicos y físicos del usuario en relación con el ambiente interior y su actividad (Alonso Frank *et al.*, 2015; Alamino *et al.*, 2015). En paralelo a la medición, se lleva a cabo un relevamiento ocular. El asistente de medición vuelca en una planilla técnica datos sobre el tipo y cantidad de artefactos de consumo eléctrico, las características de la fachada, ventana, parasol, orientación, dimensiones, estado de funcionamiento del sistema de calefacción o refrigeración, ventilación,

cantidad de personas, etc. En el edificio OSSE se realizaron 84 encuestas (27 mujeres y 57 hombres).

A partir de la medición *in situ* del edificio OSSE se define e identifica una oficina representativa de los valores promedio y se procede a la evaluación de los datos de medición y a la simulación térmico-energética. De la correlación entre los datos objetivos de las mediciones y datos subjetivos de los test, se establecen indicadores sobre el confort (en base a modelos y estándares de confort térmico referenciales, ISSO 7730, ISSO 74), así como la delimitación de rangos de aceptación y satisfacción del usuario tipo (Kuchen, 2008).

Con el fin de determinar el grado de aplicabilidad y verificación de las propuestas de optimización logradas a través de esta metodología, y así cubrir las demandas energéticas y de confort térmico, se realiza una simulación utilizando el software Energy Plus. Por medio del Ente Provincial Regulador de la Energía (EPRE), se obtiene la información sobre el consumo energético anual del edificio.

### MODELO DE CONFORT TÉRMICO ADOPTADO

El trabajo de campo efectuado por Kuchen en 30 edificios de oficina en Alemania (*ibídem*; Kuchen y Fisch, 2009; Kuchen, Plesser y Fisch, 2012) ha permitido disponer de 1100 encuestas (votos de confort) de sensación térmica. En el método de monitoreo *in situ* o "*spot-monitoring*", las encuestas y el relevamiento de los parámetros climáticos interiores se llevan a cabo en simultáneo a fin de establecer comparaciones y detectar diversas correlaciones. Los estudios se realizan en tres tipos de edificios diferentes: con climatización natural o sin climatización (designados como Tipo 1, T1); con sistemas de climatización mixtos o, en inglés, *mix-mode* (T2); y con climatización total (T3). La ecuación que establece Kuchen en su modelo de confort térmico variable determina la capacidad de variabilidad y adaptabilidad, respectivamente, a través de la incorporación de la variable de medición en tiempo real de la temperatura operativa ( $t_{op}$ ) y temperatura de neutralidad ( $t_n$ ) (ver Ecuación 1).

$$(1) \quad Disc. = 100 - 93 \cdot \exp^{(-0.0009 \cdot (t_n + t_{op})^4 - 0.034 \cdot (t_n + t_{op})^2)} \quad ; [\%]$$

El modelo establece un máximo de 7% de disconformes posibles ante una temperatura de  $23,3 \pm 1,1$  °C. Dentro de este rango queda delimitada la temperatura de neutralidad (Kuchen, 2008). La variabilidad de esta clase de modelo se define como la capacidad de admitir la adaptación de los usuarios hacia el ambiente térmico y asegurar la reconfiguración matemática según sea necesario, en función de las mediciones en tiempo real de las condiciones físicas, externas e internas, del edificio. Las investigaciones en Kuchen (2008) y Kuchen y Fisch (2009) evidencian que "los usuarios [...], aun en espacios con condiciones térmicas constantes, son capaces de experimentar procesos de adaptación, como, por ejemplo: modificar los niveles de

ropa, la posición de un termostato, controlar la apertura de puertas y ventanas, ajustar un parasol, etc., pudiendo aceptar condiciones térmicas que les son impuestas" (Kuchen, Plesser y Fisch, 2012). Estas afirmaciones son referencia de otros autores dedicados al estudio de condiciones de confort en interiores (Hellwig y Bischof, 2006; Boestra, 2006; Nicol y Humphreys, 2005; de Dear, 2004 y Kuchen, Fisch y Gonzalo, 2011). Los usuarios no son receptores pasivos del ambiente térmico, sino que, por el contrario, mantienen una actitud crítica que se traduce en la habilidad de adaptación siempre posible (Kuchen, 2013, Van Hoof, 2008; Van Hoof, Mazej y Hensen, 2010).

La normativa adaptativa desarrollada en los Países Bajos, la ISSO-74, establece métodos de evaluación del confort adaptativo en base a la historia térmica de las condiciones ambientales exteriores (ISSO 74, 2004; Boerstra, Van Hoof y Van Weele, 2015). Esta, que es solo aplicable para edificios de oficina, distingue su estudio en dos tipos de edificios, los "alpha" (alto grado de control por parte de los usuarios) y los "beta" (bajo grado de control por parte de los usuarios) (Van Hoof, Mazej y Hensen, 2010).

A partir del modelo de confort térmico de Kuchen y el estándar ISSO 74, se determinan rangos de variación de la temperatura de set point interior en función de la temperatura exterior para el caso de estudio como edificio "alpha", considerando la capacidad de adaptación térmica de sus habitantes.

## FUNCIONES DE OPTIMIZACIÓN

### Modelo de confort térmico

La definición de la función objetivo se basa en el modelo de confort térmico de Kuchen (Ecuación 1). Determina el porcentaje de disconformes con el ambiente térmico interior en función a valores específicos de  $t_a$  y  $t_{rm}$ . Definida en ASHRAE Standard 55, la temperatura operativa es una temperatura integrada que afecta globalmente la percepción térmica del usuario respecto del ambiente térmico. Según ISO 7730, la temperatura operativa combina la acción de la temperatura del aire ( $t_a$ ), la radiante media ( $t_{rm}$ ) y la velocidad del aire ( $v_a$ ) sobre la percepción térmica de los usuarios.

Si  $V_a$  se mantiene menor a 0,2m/s o la diferencia de temperatura entre  $t_a$  y  $t_{rm}$  es inferior a 4°C, se puede aplicar la siguiente expresión:

$$(2) \quad t_{op} = (t_a + t_{rm}) / 2$$

Fuera de estas situaciones particulares y para el desarrollo de un cálculo más preciso de  $t_{op}$ , UNE-EN ISO 7730:2006 propone la siguiente ecuación:

$$(3) \quad t_{op} = A \cdot t_a + (1-A) \cdot t_{rm}$$

El valor del coeficiente se calcula a partir de la velocidad relativa del aire (afectada por el movimiento del cuerpo ver tabla 1) (ver ISO 7730):

$$\text{si } M > 1 \text{ met,}$$

$$V_{ar} = v_a + 0.3(M-1)$$

$$\text{si } M < 1 \text{ met,}$$

$$V_{ar} = v_a + 0$$

el coeficiente A varía en función de  $V_{ar}$ :

$V_{ar}$	<0.2	0,2 a 0,6	0,6 a 1
A	0.5	0.6	0.7

El concepto de neutralidad térmica sirve para expresar el estado físico, psicológico y fisiológico en el que el usuario percibe el ambiente térmico agradable: no siente frío, ni calor y emite un voto CV=0 (cero) sobre la escala de 7-puntos de ASHRAE 55 (2004). De Kuchen, 2008 se obtiene la siguiente abstracción en base al modelo,

$$(4) \quad CV = b \cdot t_{op} - a$$

El criterio de neutralidad en el modelo de confort nace de considerar el enunciado de Griffiths, donde se indica que cuando CV=0, entonces  $t_{op} = t_n$  (Griffiths, 1990; Kuchen, 2008) y, por ello, es posible escribir la Ecuación 3 como sigue:

$$(5) \quad 0 = b \cdot t_n - a$$

El valor de pendiente "b" de la recta adquiere especial importancia ya que indica la capacidad de adaptación térmica de los habitantes para un ambiente térmico determinado. De las Ecuaciones 4 y 5, se deduce una temperatura de neutralidad, como se muestra en la Ecuación 6, donde "c" es un valor constante y puede variar en función de aspectos locales, tales como el grado del vínculo que posee el usuario entre interior y exterior, es decir, en función de las variantes de climatización y las estaciones del año (apertura de ventanas).

$$(6) \quad t_n = t_{op} - (c \cdot CV)$$

$$\text{donde } c = 1/b$$

Asumiendo una correlación directa entre (set point de temperatura interior) y (temperatura del aire interior a bulbo seco) para el ambiente interior, esta se puede escribir de la siguiente forma, teniendo en cuenta las Ecuaciones 4 y 6:

$$(7) \quad f_{1(sp)} = \text{Disc.} = 100 - 93 \cdot \exp^{(-0.0009 \cdot (t_n + t_{op})^4 - 0.034 \cdot (t_n + t_{op})^2)} \quad ; [\%]$$

donde  $-t_n + t_{op} = (CV/b) = (sp + t_{rm})/2 - (a/b)$

El estándar ISSO-74 descripto anteriormente establece la siguiente ecuación para determinar  $t_n$  en función de la (temperatura exterior), para el caso de un edificio de tipo *Alpha*:

$$(8) \quad t_n(\text{Alpha}) = 0,31 + t_{e,ref} + 17,2 \pm 2$$

donde  $t_n(\text{Alpha}) = Sp$

Igualando a  $t_n$  es posible determinar los rangos de temperatura dentro de los cuales varía el *set point* en función de la variación de  $t_e$  (temperatura exterior de referencia del ambiente a bulbo seco en función a la historia térmica) para un nivel de aceptación del 90%.

### Modelo de energía

En el caso de edificios con climatización por HVAC (climatización total o mixta), las cargas por refrigeración o calefacción se producen principalmente por el balance térmico a través de la envolvente del edificio, ventilación, infiltración del aire y ganancias internas de calor. La carga neta por refrigeración se define como:

$$(9) \quad Q_R = Q_{env} + Q_{aire,s} + Q_{aire,l} + Q_i \quad [W]$$

donde,

$Q_{env}$  = calor sensible a través de la envolvente

$Q_{aire,s}$  = ganancia de calor sensible por ventilación o infiltración de aire

$Q_{aire,l}$  = ganancia de calor latente por ventilación o infiltración de aire

$Q_i$  = ganancias internas de calor

El calor sensible a través de la envolvente se calcula a través de la siguiente expresión:

$$Q_{env} = a/R (t_e - t_a) \quad [W]$$

donde

$a$  = superficie del edificio

$R$  = promedio de la resistencia térmica

$t_e$  = temperatura del aire exterior

$t_a$  = temperatura del aire interior =  $s_p$

La ganancia de calor sensible por ventilación o infiltración de aire se obtiene así:

$$Q_{aire,s} = V.p.cp (t_e - t_a) \quad [W]$$

donde

$V$  = tasa de ventilación

$p$  = densidad del aire

$cp$  = calor específico del aire

La ganancia de calor latente por ventilación o infiltración de aire (combinado con proceso interno del sistema de refrigeración) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Q_{aire,l} = V.p.hfg (w_e - w_i) \quad [W]$$

donde

$V$  = tasa de ventilación

$hfg$  = entalpía por evaporación

$w_e$  = humedad absoluta del aire exterior

$w_i$  = humedad absoluta del aire interior

La energía consumida por el equipo por refrigeración,  $CE_R$ , se calcula al relacionar la carga neta por climatización con el nivel de eficiencia del sistema

$$(10) \quad f_2 = CE_R = Q_R / Effc = [W]$$

## RESULTADOS Y EVALUACIÓN

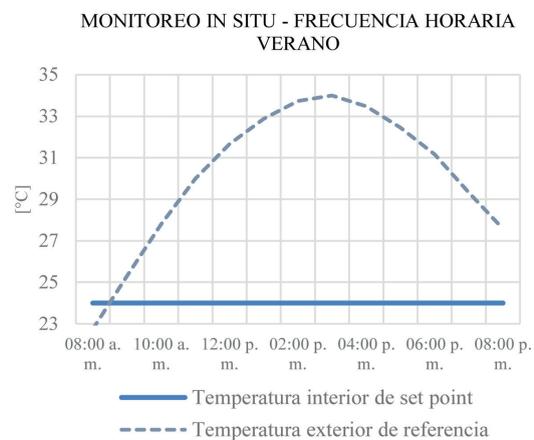


Figura 4. Resultados del monitoreo *in situ* en un día típico de verano con una temperatura de *set point* constante. Fuente: Elaboración de los autores.

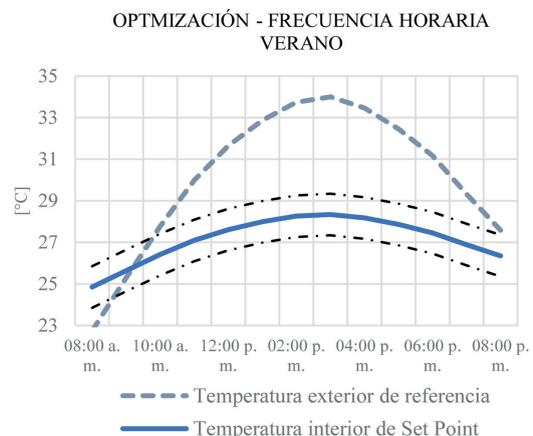


Figura 5. Variación de la temperatura de *set point* con optimización. Fuente: Elaboración de los autores.

La Figura 4 presenta los resultados reales tomados de la oficina tipo para un periodo laboral definido entre las 8:00 a.m. y las 8:00 p.m. Se identifica un alto salto térmico interior exterior-interior, lo cual representa potencial de ahorro energético y justifica la optimización. Funcionando con un *set point* constante de 24°C (Figura 4), el edificio presenta un consumo de energía tipo 1 que varía de 14.5 a 20.5 MJ (4 - 5.5 kWh / horas de trabajo) (Figura 6).

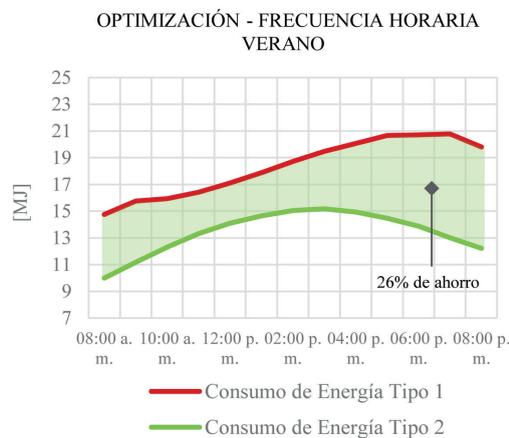


Figura 6. Optimización del consumo energético de climatización en día típico de verano. Fuente: Elaboración de los autores.

La incorporación del estándar ISSO-74 para edificios "alpha" clase A establece los rangos de posible variación del *set point* para mantener el ambiente interior dentro de la zona de confort. Los resultados de la simulación muestran que a través de la optimización adaptativa-variable de *set point* se reduce el salto térmico, manteniendo 90% de aceptabilidad (Figura 5). Se advierte, igualmente, que los habitantes permanecen en una situación de confort en un rango de temperatura que varía de 24.8°C a 28.3°C, para una temperatura exterior de referencia de 22.7°C a 34°C (Figura 5). La Figura 6 evidencia que la debida consideración a la capacidad de adaptación de los habitantes tiene un impacto significativo en el consumo de energía, lo que conlleva a ahorros de energía del orden del 26% (consumo energía tipo 2) de energía eléctrica por climatización, para el período de verano.

## CONCLUSIONES

El modelo adaptativo-variable aquí expuesto presenta una respuesta apropiada hacia la evaluación del confort térmico en espacios interiores de oficina, ya que considera activos a los habitantes con respecto a su ambiente térmico. La hipótesis que establece que los habitantes deben tener libertad para desarrollar sus capacidades de adaptación y tener suficiente control personal dentro de su ambiente de trabajo, se valida.

Para la optimización del confort térmico y la eficiencia energética es necesario que el modelo admita la variabilidad en el tiempo, teniendo en cuenta la evolución de las condiciones ambientales interiores y exteriores que afectan al edificio. El ahorro de energía se basa en la abstracción de que el punto de ajuste de la temperatura interior es variable y coincide con la temperatura de neutralidad dada por el modelo adaptativo de confort. En suma, la aplicación del método propuesto que combina el monitoreo *in situ* y la optimización adaptativa se verifica para mejorar la operación de los edificios de oficinas. Los ahorros de energía para el aire acondicionado son significativos para el período de verano, según las condiciones del presente estudio de caso.

Los estudios futuros se centrarán en el estudio de la evolución térmica horaria, aumentando la cantidad de variables analizadas para incorporarlas a las funciones de optimización de objetivos múltiples mediante algoritmos genéticos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al MINCyT (Ministerio de Ciencia y la Tecnología de la Nación Argentina), al CONICET (Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Argentina) y a la FAUD-UNSJ (Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan), por el fomento a investigadores vinculados a este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-AJMI, Farraj F. Thermal comfort in air-conditioned mosques in the dry desert climate. *Building and Environment*, 2010, vol. 45, n° 11, pp. 2407-2413.

ALAMINO NARANJO, Yesica; KUCHEN, Ernesto; GIL ROSTOL, Celeste, ALONSO FRANK, Alción. Monitoreo de funcionamiento y estrategias de eficiencia energética para el edificio público de Obras Sanitarias Sociedad del Estado, San Juan, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5, n° 1, pp. 14-23.

ALONSO FRANK, Alción, KUCHEN, Ernesto, ARBALLO, Bruno, ALAMINO NARANJO, Yesica. Influencia de la calidad ambiental edilicia y térmica del usuario en la eficiencia energética de edificios públicos. Caso de estudio: Edificio de Obras Sanitarias Sociedad del Estado, San Juan - Argentina. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2015.

ASHRAE 55:2004. *Thermal environmental conditions for human occupancy (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55:1992)*. ASHRAE Inc., Atlanta, USA, 2004.

BLIUC, Irina; ROTBERG, Rodica y DUMITRESCU, Laura. Assessing thermal comfort of dwellings in summer using EnergyPlus [en línea]. En: *Proc. of the CLIMA 2007 World Congress Well Being Indoors*, 2007. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7648.pdf>

- BOESTRA, Atze. C. The adaptive thermal comfort criterion in the new EPBD IEQ Standard. *BBA Indoor Environmental Consultancy*, 2006.
- BOERSTRA, Atze C.; VAN HOOFF, Joost; VAN WEELE, A. M. A new hybrid thermal comfort guideline for the Netherlands: background and development. *Architectural Science Review*, 2015, vol. 58, n° 1, pp. 24-34.
- CHANDEL, S. S.; SHARMA, Vandna y MARWAH, Bhanu M. Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 65, pp. 459-477.
- DE DEAR, R. Thermal comfort in practice. Division of Environmental and Life Sciences, Macquarie University, Australia. *Indoor Air*, 2004, vol. 14, n° 7, pp. 32-39.
- DERBEZ, Mickaël, BERTHINEAU, B., COCHET, V., PIGNON, C., RIBÉRON, J., WYART, G.... y KIRCHNER, S. A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses. *Building and Environment*. 2014, vol. 82, pp. 288-299.
- DOUNIS, Anastasios y CARAISCOS, Christos. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, vol. 13, n° 6-7, pp. 1246-1261.
- ENBOP. Energie Betriebsoptimierung [en línea]. 2008. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: <http://www.enob.info>.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [en línea]. 2014. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- GRIFFITHS, I. Thermal comfort studies in buildings with passive solar features, field studies. *Report to the Commission of the European Community*, 1990, vol. 35.
- HELLWIG, Runa Tabea y BISCHOF, Wolfgang. Gültigkeit thermischer Behaglichkeitsmodelle. *Bauphysik*, 2006, vol. 28, n° 2, pp. 131-136.
- HOLMES, Michael J. y HACKER, Jacob N. Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century. *Energy and Buildings*, 2007, vol. 39, n° 7, pp. 802-814.
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM). *Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. IRAM 11603:1996. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización, ICS 91.120.10., CNA 5640, 1996.
- ISO 7730. Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort, 1994.
- ISSO 74. Thermische Behaaglijkheid. Publication 74, ISSO. Rotterdam, The Netherlands, 2004.
- KUCHEN, Ernesto. Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäuden. PHD Thesis. ISBN: 978-3-89959-783-7. Der Andere Verlag, S. 203. Tönning, Deutschland, 2008.
- KUCHEN, Ernesto. Ventilación de espacios de trabajo en edificios de oficina y su influencia sobre la eficiencia energética. *Hábitat Sustentable*, 2013, vol. 3, n°2, pp. 55-65.
- KUCHEN, Ernesto y FISCH, M. Norbert. Spot monitoring: thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. *Building and Environment*, 2009, vol. 44, n° 4, pp. 839-847.
- KUCHEN, Ernesto; FISCH, M. Norbert y GONZALO, Guillermo E. Modelo de Confort. Rangos de Aceptación Térmica. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2011, vol. 14, pp. 89-96.
- KUCHEN, Ernesto; PLESSER, Stefan y FISCH, M. Norbert. Eficiencia energética y confort en edificios de oficina. El caso alemán. *Hábitat Sustentable*, 2012, vol. 2, n°2, pp. 34-44.
- MOROŞAN, Petru-Daniel; BOURDAIS, Romain; DUMUR, Didier y BUISSON, Jean. Building temperature regulation using a distributed model predictive control. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, n° 9, pp. 1445-1452.
- NETO, Alberto y FIORELLI, Flávio Augusto. Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. *Energy and buildings*, 2008, vol. 40, n° 12, pp. 2169-2176.
- NGUYEN, Anh-Tuan; REITER, Sigrid y RIGO, Philippe. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, 2014, vol. 113, pp. 1043-1058.
- NICOL, J. Fergus y HUMPHREYS, Michael A. Maximum temperatures in buildings to avoid heat discomfort. En: *International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment"*, Santorini, Greece, 2005.
- PABLO-ROMERO, María del P.; POZO-BARAJAS, Rafael y YÑÍGUEZ, Rocío. Global changes in residential energy consumption. *Energy Policy*, 2017, vol. 101, pp. 342-352.
- PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 2008, vol. 40, n° 3, pp. 394-398.
- PROYECTO EECOM –PDS- Res.1277/16. Eficiencia Energética y Confort en edificios públicos mediante Optimización Multiobjetivo. Director: Dr. Ernesto Kuchen. San Juan, Argentina, 2016.
- SÁNCHEZ-GARCÍA, Daniel, RUBIO-BELLIDO, Carlos; MARRERO-MELÉNDEZ, Madelyn; GUEVARA-GARCÍA, Francisco y Canivell, Jacinto. El control adaptativo en instalaciones existentes y su potencial en el contexto del cambio climático. *Hábitat Sustentable*, 2017, vol.7, n° 2, pp. 06-17.
- STAPLES. *Encuesta telefónica realizada aleatoriamente a 1000 empleados de empresas PyMEs del área de Capital y Gran Buenos Aires*. Argentina, 2012.
- TWEED, Christopher; DIXON, Dylan; HINTON, Emma y BICKERSTAFF, Karen. Thermal comfort practices in the home and their impact on energy consumption. *Architectural Engineering and Design Management*, 2014, vol. 10, n° 1-2, pp. 1-24.

VAN HOOF, Joost. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: Comfort for all? *Indoor Air*, 2008, vol. 18, n° 3, pp. 182-201.

VAN HOOF, Joost; MAZEJ, Mitja y HENSEN, Jan LM. Thermal comfort: research and practice. *Frontiers in Bioscience*, 2010, vol. 15, n° 2, pp. 765-788.

YANG, Rui, y WANG, Lingfeng. Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. *Energy and Buildings*. 2013, vol. 56, pp. 1-7.





# LA INFLUENCIA DEL VIDRIO EN EL CONSUMO DE CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN E ILUMINACIÓN EN REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS DE OFICINAS BAJO CLIMA MEDITERRÁNEO PENINSULAR (1971-1980)

Recibido 22/03/2019  
Aceptado 14/06/2019

THE INFLUENCE OF GLAZING ON HEATING, COOLING AND LIGHTING USE IN OFFICE BUILDING RETROFITTING IN A PENINSULAR MEDITERRANEAN CLIMATE (1971-1980)

JORGE ÁVILA-DELGADO  
Grado en Ciencia y Tecnología de Edificación  
Estudiante de Doctorado Universidad de Sevilla.  
Sevilla, España  
<http://orcid.org/0000-0002-6803-8983>  
[joravidel@alum.us.es](mailto:joravidel@alum.us.es)

MARÍA ROBADOR-GONZÁLEZ  
Doctor Arquitecto  
Docente Departamento de Construcciones Arquitectónicas II.  
Universidad de Sevilla.  
Sevilla, España  
<https://orcid.org/0000-0002-4662-494>  
[lolarobador@us.es](mailto:lolarobador@us.es)

JOSÉ BARRERA-VERA  
Doctorado en técnicas gráficas y cartográficas  
Docente del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica.  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, España  
<https://orcid.org/0000-0003-1069-4846>  
[barrera@us.es](mailto:barrera@us.es)

Madelyn Marrero  
Doctora en Filosofía  
Docente del Departamento de Construcciones Arquitectónicas II.  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, España  
<https://orcid.org/0000-0002-9509-4374>  
[madelyn@us.es](mailto:madelyn@us.es)

## RESUMEN

Los edificios de oficinas existentes en España representan el 33% del consumo total del parque construido. Estos son mayoritariamente edificios previos a la entrada en vigor de Código Técnico de Edificación, por lo que son poco eficientes energéticamente y poseen una elevada superficie vidriada. Las puertas y ventanas suelen ser los primeros elementos a sustituir en las renovaciones de edificios y presentan una oportunidad de mejora. Para ello, el vidrio puede ser analizado según su configuración, unido a la inclusión de tratamiento de capa en algunas de las caras (bajo emisivo), y mediante los parámetros característicos: transmitancia térmica, coeficiente de ganancia térmica solar y transmisión luminosa. En este artículo, se analiza la sustitución de vidrios monolíticos sencillos, por vidrios de doble vidrio sin tratamiento de capa o bajo emisivo, analizados por orientaciones. Se estudian tres climas mediterráneos con diferentes severidades de invierno y verano en España (Barcelona, Sevilla y Málaga). En cuanto a la configuración y tratamiento de capa del vidrio, en calefacción, se obtiene un menor consumo energético con el vidrio sin tratamiento de capa con mayor transmitancia térmica, y en refrigeración, con el bajo emisivo. Por otro lado, si se analizan los parámetros característicos, un menor consumo de calefacción se consigue con una transmitancia térmica baja, factor solar alto y transmisión luminosa baja, y en refrigeración, por el contrario, con una transmitancia alta, factor solar bajo y transmisión luminosa alta, por lo que es la combinación de ambas estaciones la que dicta los valores óptimos. En iluminación, un menor consumo se obtiene con la transmisión luminosa y factor solar mayores.

## Palabras clave

Consumo energético de oficinas, eficiencia del vidrio, simulación energética, clima mediterráneo.

## ABSTRACT

Office buildings in Spain represent 33% of the total energy consumption of building stock. Most were built prior to when the Technical Building Code came into force, and hence are not energy efficient and have highly glazed façades. Doors and windows are normally the first elements to be replaced during building renovations and present an opportunity for improvement. To this end, glazing can be analyzed according to its configuration, along with any internal coatings, i.e. with or without a low emissivity layer, and through the characteristic parameters, including: thermal transmittance, solar heat gain coefficient and visible transmittance. This article analyzes the replacement of monolithic glass panes with double panes without coatings (low emissivity), by orientation. Three Mediterranean climates with different winter and summer weather severity were studied in Spain (Barcelona, Seville and Malaga). In terms of window configuration and internal coatings, for heating, lower energy consumption can be obtained with glass without coatings that has higher thermal transmittance, and for cooling, with low emissivity glass. Alternately, if the characteristic parameters are analyzed, lower heating consumption is achieved with low thermal transmittance, high solar heat gain and low visible transmittance. On the contrary, during the summer high thermal transmittance, low solar heat gain coefficient and high visible transmittance yield the best results for cooling. Therefore, it is the combination of weather from both seasons that dictates the optimal values. In lighting, lower consumption is obtained with higher visible transmittance and solar heat gain coefficients.

## Keywords

Energy consumption in office buildings, glazing efficiency, energy simulation, Mediterranean climate.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático debido a causas antropogénicas es una realidad cada vez más evidente. Numerosos signos tangibles indican, como lo atestigua la comunidad científica, que se ha superado el umbral de dióxido de carbono de 400 ppm (Hunger, 2016). Son los edificios los responsables del 40% del consumo total en la Unión Europea (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 2010) y dentro de las diferentes tipologías de edificios, los de oficinas destacan por su alto consumo de energía (Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España 2004-2012, 2003) y representan el 33% del consumo total del parque construido. Se trata, mayoritariamente, de edificaciones previas a la entrada en vigor del Código Técnico de Edificación (Código Técnico de la Edificación, 2006), por lo que suelen ser inmuebles energéticamente ineficientes y con grandes superficies vidriadas. La ventana es normalmente el primer elemento de la envoltura térmica evaluado, técnica y económicamente (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2008) y destaca por su triple efecto en el consumo de energía a través de los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación (Jaber y Ajid, 2011).

La configuración del vidrio ha ido evolucionando considerablemente a lo largo de las últimas décadas mediante la aplicación de nuevos diseños, técnicas y materiales (Giménez, 2011). Así, se puede diferenciar varias tipologías en ellos (IDAE, 2008), de acuerdo a su configuración o diseño, como son el simple, doble o triple, así como la inclusión de un tratamiento de capa en alguna o varias de las caras con el que se obtendría un bajo emisivo, control solar o una combinación de ambas características. Dichas cualidades condicionan el valor de los parámetros característicos asociados al vidrio que consideran la UNE-EN 410 y UNE-EN 673 (Asociación Española De Normalización y Certificación, 2011a y 2011b), tales como la reflexión luminosa, la absorción energética, la transmisión ultravioleta, entre otros. Destacan, en este sentido, la transmitancia térmica «U» y el factor solar «FS», por su efecto en el comportamiento térmico de los recintos, y la transmisión luminosa «TL», por su influencia en la iluminación artificial.

Al igual que la parte opaca de la envoltura de los edificios, el nivel de eficiencia y elección del vidrio se ha asociado, durante los últimos años en España, principalmente al parámetro transmitancia térmica (Tabla 1). Los vidrios monolíticos sencillos fueron utilizados, en su gran mayoría, hasta la década de los ochenta (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas, 2014).

Como se ha indicado, los edificios de oficinas se caracterizan por un elevado porcentaje de vanos (Window-to-Wall Ratio, WWR), alto consumo energético por metro cuadrado y gran aprovechamiento de la luz natural (Franzetti, Fraise y Achard, 2004). En esta línea, se han realizado diversos estudios en cuanto a su forma, disposición, WWR, tipos

Periodo	Descripción	U (W/m <sup>2</sup> K)
1970-1980	Vidrio monolítico	5,7
1980-1990	Doble vidrio	3,3
1995-2000	Primeros vidrios bajo emisivos	1,8 - 1,6
2007	Mayor presencia vidrios bajo emisivos	1,5 - 1,3
2013	Vidrios bajo emisivos	1,1 - 0,5

Tabla 1. Evolución temporal del uso del vidrio convencional en España. Parámetro transmitancia térmica. Fuente: Recuadro extraído de Asociación Española de Fabricantes De Fachadas (2014).

de ventanas, elementos de sombra, entorno y zonas climáticas. Hee *et al.* (2015) ponen de manifiesto el impacto de la tipología del vidrio, estático y dinámico, en el comportamiento térmico y aprovechamiento de la luz natural. En la mejora de la normativa de ahorro energético por el gobierno de Korea, Kim *et al.* (2014) proponen incluir, además, el parámetro aislante de la ventana, orientación y factor solar.

Méndez *et al.* (2015), en tanto, destacan la importancia de la disposición de las ventanas, con y sin influencia del entorno, en la eficiencia energética en climas europeos más representativos de Europa según la clasificación Köppen (Palermo, Torino, Frankfurt y Oslo). Goia (2016) se centra en establecer el WWR ideal en oficinas de bajo consumo para diferentes climas europeos (Oslo, Frankfurt, Rome and Athens). Afirma que la mayoría de los valores ideales se encuentra en un estrecho margen entre el 0.30 y 0.45% de vanos. De forma semejante, Ma, Wang y Guo (2015) determinan el WWR máximo según diferentes valores de transmitancia térmica de la envoltura en siete ciudades de Estados Unidos. Pino *et al.* (2012) destacan el tamaño de la superficie acristalada como el factor más influyente en la demanda energética en Santiago, Chile. Éstos, con un WWR del 20%, protecciones solares exteriores y vidrio selectivo, obtienen una demanda de 25 kWh/m<sup>2</sup> año.

En climas nórdicos, Poirazis, Blomsterberg y Wall (2008) establecen posibilidades y limitaciones en el diseño de futuros edificios de oficinas estudiando una planta rectangular en Gotemburgo, Suecia. Sostienen que los edificios con grandes superficies vidriadas deben estar diseñados de manera que eviten la alta carga de refrigeración. Grynning *et al.* (2013) obtienen resultados similares al analizar tres métodos de calificación de ventanas en un edificio en Oslo, Noruega, donde también tiene una mayor importancia la demanda de refrigeración.

Por otro lado, en climas cálidos, Huang, Niu y Chung (2014) basan su investigación en un edificio cuadrado en cuatro ciudades de latitudes entre 1° 18' y 29° 45' norte. Establecen la combinación ideal para las diferentes tipologías de ventanas convencionales y los elementos de sombras interiores y exteriores. Tsikaloudaki *et al.* (2012)

evalúan el comportamiento de un grupo de ventanas sobre la demanda de refrigeración en clima mediterráneo (Atenas, Lárnaca, Lisboa, Málaga y Roma) mediante el cálculo del valor del índice energético en módulo de oficina rectangular diseñado bajo norma ISO 18292, y determinan que los valores de transmitancia térmica inferiores a 2,0 W/m<sup>2</sup>K no son aconsejables si se quiere conseguir que la carga de refrigeración sea lo más baja posible.

Lee *et al.* (2013) investigan el efecto del vidrio en el consumo energético en varios climas típicos de Asia (Manila, Taipei, Shanghai, Seoul y Sapporo). Exponen diferentes propuestas para cada clima según tamaño, porcentaje y orientación. Ihara, Gustavsen y Jelle (2015) estudian, además del efecto de la transmitancia y factor solar de la ventana, la reflectancia y transmitancia térmica de la parte opaca en Tokio, Japón. Concluyen que la medida más efectiva para reducir la demanda energética pasaría por reducir primero el factor solar, seguido de la transmitancia térmica de la ventana para posteriormente aumentar la reflectancia solar de la parte opaca. Y destacan que la reducción de la transmitancia de la parte opaca aumenta la demanda en la mayoría de los edificios, siendo necesario determinar el valor apropiado.

En cuanto al consumo en iluminación, Tian *et al.* (2010) desarrollan un sistema de clasificación energética de ventanas para los edificios de oficinas más comunes de Hong Kong, a partir del cual indican qué estrategias de control de la iluminación artificial tienen un gran impacto en la calificación energética. Bodart y De Herde (2002), por su parte, evalúan el impacto del aprovechamiento de la luz natural en Uccle, Bélgica y aseveran poder reducir la iluminación artificial en oficinas entre un 50 y 80%. Lee y Won (2017) analizan la combinación factor solar y transmisión luminosa, proponiendo una guía que mejore la eficiencia económica según coste energético e inversión inicial, en Corea del Sur. Afirman que el consumo energético disminuye a medida que el factor solar disminuye y la transmisión luminosa aumenta.

Con visión a futuro, Rubio-Bellido, Pérez y Pulido (2016) abordan hipotéticos escenarios meteorológicos que podrían surgir como consecuencia del cambio climático, y los efectos que podrían darse sobre la demanda energética en diferentes años, en Chile. En ese marco, investigan cómo optimizar la planta (factor de forma) y la envolvente (relación ventana y parte ciega) de estas construcciones. Asimismo, Shibuya y Croxford (2016) exploran el impacto del cambio del clima sobre el consumo de calefacción y refrigeración de un edificio estándar existente en tres regiones de Japón.

El presente artículo analiza el vidrio desde dos puntos de vista: su configuración, que corresponde al número de paneles acristalados que lo conforman (simple o doble vidrio) o al tratamiento de capa (baja emisividad), y sus parámetros característicos. La metodología propuesta permite determinar, comparar y entender la influencia de

ambas formas de análisis en el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación, y con ello, en la elección de cada sistema y orientación. Primero, se considera el vidrio según su configuración y tratamiento de capa, para lo cual es necesario no tener aplicado ningún tratamiento de capa (vidrio claro), o bien, contar con una capa de baja emisividad (bajo emisivo). Y, en segundo lugar, se trabajan los tres parámetros característicos: la transmitancia térmica, el factor solar y transmisión luminosa, cuyos valores dependen de los resultados obtenidos a partir de la primera etapa del análisis.

Para conseguir ambos objetivos se define un edificio modelo de oficinas, representativo del parque edificatorio, dentro del periodo de mayor volumen de construcción de oficinas en España (1971-1980). El edificio es adaptado o transformado geométricamente, interna y externamente, de manera que permita obtener una igualdad de condiciones en todas las orientaciones, posibilitando con ello, la comparación entre dichas orientaciones. Tres tipos de vidrios son utilizados: monolítico sencillo, doble claro y doble bajo emisivo. El modelo, una vez modificado, es sometido a tres entornos climáticos que exhiben diferentes severidades de invierno y verano, de acuerdo al Código Técnico de la Edificación (CTE, 2017). Los climas vienen definidos por una letra (desde la "A", para el más suave, hasta la "E", para el más severo) cuando se refiere al consumo calefacción, y por un número (desde el "1", el más suave, al "4", el más severo) cuando se trata de refrigeración. Los entornos climáticos corresponden a tres ciudades con mayor superficie construida de oficinas en clima mediterráneo peninsular español (Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, 2014): Barcelona, de código «C2» y latitud 41° 28' N, Sevilla «B4» de 37° 42' N, y Málaga «A3» de 36° 67' N.

## METODOLOGÍA

Para determinar la influencia e importancia de la configuración y tratamiento de capa, y de los parámetros de los vidrios en edificios de oficinas, se sigue la siguiente metodología:

1. Se define el modelo representativo de un grupo existente del parque edificatorio. Se determina aquí la geometría, alturas, vanos y ventanas del modelo inicial de estudio basado en datos catastrales y estadísticos en las ciudades de estudio.
2. Se establecen las características constructivas del modelo, partiendo en este caso, de informes técnicos y códigos constructivos vigentes en el periodo de construcción elegido. Así también, se define la ocupación, la operación y los equipos instalados.
3. Se precisan los datos requeridos para la representación del modelo dentro del programa de simulación energética que incluye los parámetros

de evaluación: transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa de los vidrios.

4. Se determina la iluminación y colocación de fotosensores con programas informáticos.
5. Se estipula las combinaciones de vidrios a ensayar y se identifican los vidrios comúnmente empleados y comercializados.
6. Se realizan simulaciones relacionadas con la influencia de los vidrios, según configuración y tratamiento de capa, para posteriormente continuar con los parámetros característicos. En este último caso, se generan distintas combinaciones ficticias auxiliares de los valores de los parámetros de los vidrios dobles.
7. Se representan gráficamente los resultados por ciudades y orientaciones, según configuración y tratamiento del vidrio, y parámetros característicos. Se amplía, posteriormente, el estudio del vidrio a un rango de valores de transmitancia térmica y factor solar mayores para conocer si mantiene el vidrio el mismo comportamiento.

## EDIFICIOS REPRESENTATIVOS

La Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, a través del documento "Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio" (2014), refleja una superficie construida de oficinas en España de 111,29 millones de m<sup>2</sup>. De ellos, el 31,8% fueron construidos en los años 2002-2011, el 23,1%, en el intervalo 1991-2001 y un 15,2%, entre 1971 a 1980. Periodo, este último, caracterizado por el uso del vidrio monolítico sencillo.

El listado de referencias catastrales de inmuebles indica cuáles tienen uso de oficina en la Subdirección General de Política de la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento. Y a través de la Sede Electrónica del Catastro (Servicios electrónicos de la Dirección General del Catastro) se han localizado los de Sevilla, de los cuales se eligen tres, mediante un estudio de campo. Estos edificios están caracterizados por presentar: planta rectangular, elevada superficie y número de plantas, vanos modulados con igual dimensión, forma y porcentaje en todas las orientaciones, y ningún edificio colindante cercano (Figura 1).

Los tres edificios son utilizados en el diseño geométrico y elementos de la envolvente del modelo de oficinas. Debido a las diferencias existentes entre ellos, se considera una situación intermedia en cuanto a la planta (dimensiones exteriores, número de plantas y altura de suelo a suelo), el vano (porcentaje, geometría y posición, escuadría, altura dintel y antepecho, y elemento de sombra propia) y la ventana (carpintería, fracción de marco y vidrio).



Figura 1. Edificios de referencia en la definición del modelo inicial.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

El edificio modelo, de planta rectangular, tiene unas dimensiones interiores de 50m x 20m con alineación de fachadas de mayor longitud a eje norte-sur. Consta de 11 plantas con una altura de suelo a suelo de 3,10m. Los forjados de las plantas intermedias son de 0,36 m siendo la altura de suelo a techo de 2,74m.

## HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

La herramienta de simulación energética elegida, de uso extendido en el sector de la construcción, es DesignBuilder<sup>1</sup>, sobre la cual se ha basado la caracterización y estructuración de los diferentes elementos pasivos y activos del edificio modelo. Esta trabaja con el motor de cálculo EnergyPlus -desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y creado a partir de la unión de las herramientas DOE-2 y BLAST-, el que permite realizar simulaciones dinámicas avanzadas en tiempo real. También incorpora RADIANCE en el análisis de la iluminación natural incidente a través de los parámetros lumínicos: nivel de iluminancia y factor de luz diurna, mediante el método "ray-tracing" (trazado de rayos) en el plano de trabajo. Emplea el modelo de cálculo estadístico Monte Carlo, incluyendo la reflexión, refracción de la luz, sombras y otros efectos necesarios de forma unificada para conseguir un efecto realista. Finalmente, la herramienta usa el módulo HVAC, el cual considera un amplio rango de sistemas (todos los de referencia del estándar ASHRAE 90.1), como también la dinámica de fluidos computacional (CFD) en el estudio detallado del movimiento del aire interior y la distribución de temperaturas, entre otros aspectos.

Para el cálculo de los parámetros lumínicos de fuentes de luz interior y distribución de luminarias de los recintos se ha utilizado la también conocida y extendida herramienta DIALux<sup>2</sup> del Instituto Alemán de Luminotécnica Aplicada. Esta hace posible integrar una multitud de paquetes de base de datos de productos de compañías de fabricantes diferentes.

## SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, OCUPACIONALES, OPERACIONALES, FUNCIONALES, Y EQUIPOS

El diseño de las soluciones constructivas que componen la envolvente del edificio modelo se ha basado en la norma de buenas prácticas, correspondiente al periodo de estudio en España (Ministerio de la Vivienda, 1972), mientras que sus valores de transmitancia térmica se han

apoyado en la biblioteca de materiales de la Herramienta Unificada de Verificación del Documento Básico HE del CTE y la Certificación Energética de Edificios<sup>3</sup> (HULC 2016) (Tabla 2).

Los vanos de fachada, de forma rectangular en posición apaísada, son modulares de iguales características geométricas y dimensionales equidistantes entre sí, a 0,50m (Figura 2). El porcentaje de vanos es del 46% en todas las orientaciones, único considerado en las simulaciones.

Parámetro	Espesor (m)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Cubierta	0,46	0,91
Muro de fachada	0,29	1,28
Suelo	0,51	2,36
Partición interna horizontal	0,36	1,96
Partición interna vertical	0,12	2,23

Tabla 2. Parte opaca de la envolvente térmica y particiones interiores. Espesores y valor transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de los autores.

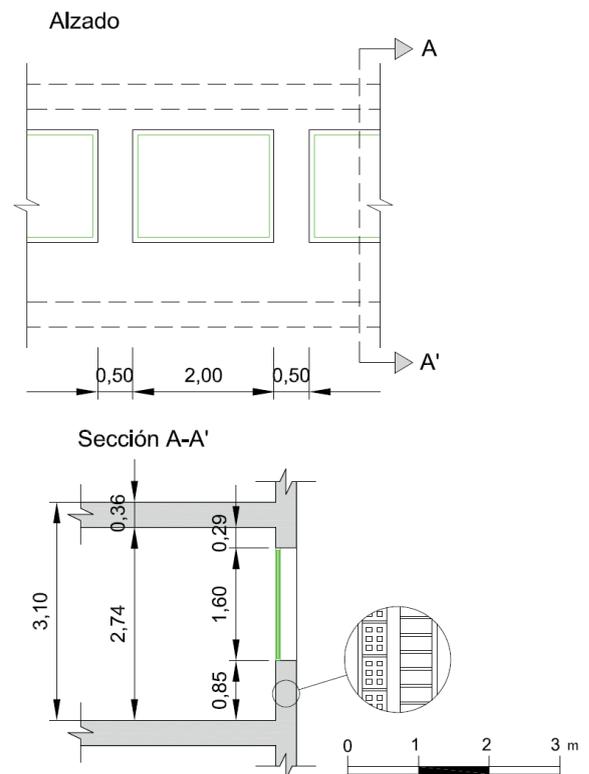


Figura 2. Alzado y sección fachada del edificio modelo inicial. Fuente: Elaboración de los autores.

[1] HERRAMIENTA DESIGNBUILDER (versión 5.0.1.021) (<https://www.designbuilder.co.uk>)  
 [2] HERRAMIENTA DIALUX (versión 4.12) (<https://www.dial.de/es/dialux-desktop/download/>)  
 [3] HERRAMIENTA HULC (versión 1.0.193.1049, de fecha 10-mar-2016) (<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>)

Parámetro		Valor
Vano	Escuadría	2,00 x 1,60 m
	Altura dintel	2,45 m
	Altura antepecho	0,85 m
Ventana	Parámetros del vidrio monolítico de 6 mm	$U_g = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ $FS = 0,85$ $TL = 91 \%$
	Perfil de marco	$U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha = 0,30$
	Infiltración recintos	$n^{50} = 5,0 \text{ 1/h}$
	Fracción de marco	15 %

Tabla 3. Parámetros del vano y ventana. Fuente: Elaboración de los autores.

Parámetro		Valor	
Calefacción	Rendimiento estacional	0,85	
	Temperatura de consigna	22°C	
Refrigeración	Rendimiento estacional	1,80	
	Temperatura de consigna	24°C	
Ventilación	Categoría IDA 2	12,5 dm <sup>3</sup> /s	
Ganancias internas	Ocupación	Densidad ocupación	10,00 m <sup>2</sup> /persona
		Tasa por persona	130 W/persona
	Equipos	Factor metabólico	0,93
Iluminación artificial	Iluminación artificial	Vestimenta	Verano (0,50), Invierno (1,00)
		Densidad	4,50 W/m <sup>2</sup>
		Fracción radiante	0,63
Iluminación artificial	Iluminación artificial	Fracción radiante	0,37
		Fracción visible	0,18
		Fracción conectiva	0,45
Iluminación artificial	Potencia/área		16,98 W/m <sup>2</sup>
	VEEI		2,36 W/m <sup>2</sup> 100 lux
	Factor mantenimiento		0,80
Iluminación natural	Fracción iluminación controlada por sensor de luz		50 %
	Iluminación de consigna		500 lux
	Plano de trabajo		0,85 m

Tabla 4. Parámetros sistema de calefacción y refrigeración, ventilación mecánica y ganancias internas, e iluminación artificial y natural. Fuente: Elaboración de los autores.

En una rehabilitación energética de vanos de fachadas no tiene sentido cambiar únicamente la superficie vidriada sino la ventana. Ello, debido, por un lado, a las pésimas prestaciones térmicas que tiene el perfil de hoja y/o marco y, por otro, a la imposibilidad técnica de incluir un vidrio de mayor calidad y grosor en el poco espesor del perfil existente. En las simulaciones, se ha considerado las características técnicas del marco en su situación reformada.

Se elige un sistema de hoja fija, al no considerarse la ventana una estrategia de ventilación natural en el sector terciario (CTE, 2013), de perfil PVC y color blanco. El vidrio es un monolítico sencillo de 6mm de espesor, retranqueado 24cm del paramento exterior (Tabla 3).

Los elementos de sombras en vanos de fachada son iguales en todas las orientaciones, de modo que se escoge para el estudio la opción de máxima incidencia de la radiación solar. Es el retranqueo de la ventana el único considerado. Al centrarse la investigación en el comportamiento del vidrio, se han mantenido constantes todos los elementos que conforman la envolvente térmica y particiones interiores, así como las características ocupacionales, operacionales, funcionales y los equipos. La transmitancia térmica, el factor solar y la transmisión luminosa son las únicas variables.

El equipo de producción de calor está compuesto por un ventilconvector 4 tubos de vector energético el gas natural. El equipo de refrigeración corresponde a una enfriadora por aire de vector la electricidad.

En la iluminación artificial se ha elegido una de tipo general directo, es decir, aquella que no modifica su distribución, aun produciéndose cambios en la posición de los puestos de trabajo. Se ha considerado una instalación muy habitual en oficinas (IDAE, 2001) consistente en luminarias de techo empotradas no ventiladas con lámparas fluorescentes tubulares lineales de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, tipo TL-D 26mm de diámetro.

En el aprovechamiento de la luz natural, se ha empleado un sistema de regulación y control automático tipo progresivo/apagado en el que la iluminación artificial y potencia eléctrica consumida disminuyen linealmente a medida que aumenta la incidencia de la iluminación natural (Ordóñez, 2014). Las lámparas se apagan al sobrepasar el nivel de iluminación de consigna. Cada recinto lleva incorporado un fotosensor situado a eje del vano a una distancia de 2,45m. No se ha considerado ningún factor corrector por pérdida de radiación lumínica por suciedad del vidrio (Tabla 4).

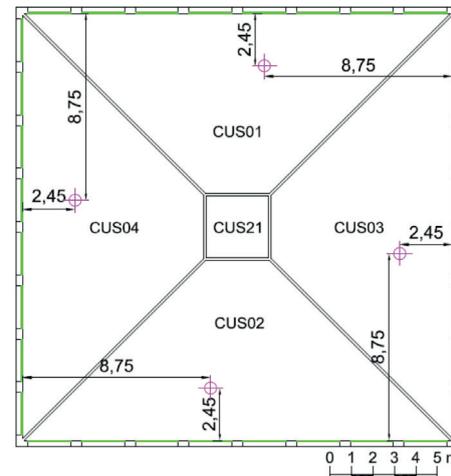


Figura 3. Planta modelo de oficinas. Fuente: Elaboración de los autores.

## ADAPTACIÓN DEL EDIFICIO MODELO Y COMBINACIONES EN LA COMPARACIÓN DEL VIDRIO

Para conocer la influencia de la configuración del vidrio, unido al tratamiento de capa, y de los tres parámetros característicos sobre los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación, el edificio modelo de planta rectangular, de 50 x 20 m, es previamente adaptado con el fin de conseguir una igualdad de condiciones en todas las orientaciones, que permita la comparación.

El primer inconveniente que se presenta en el modelo de planta rectangular es la desigual incidencia de la radiación solar por fachada. Por lo que éstas son unificadas en sus dimensiones, tomando como referencia la de menor longitud, de manera que la planta pasa a ser de 20m x 20m. Un segundo inconveniente está relacionado con la superficie de los espacios interiores. Estos tienen que ser también iguales entre sí, dando un nuevo escenario compuesto por núcleo central, CUS21, y cuatro espacios de igual superficie útil y número de vanos orientados hacia los cuatro puntos cardinales, CUS01 a 04 (Figura 3). Por simplificación y rapidez en las simulaciones, se ha centrado el estudio en una única planta intermedia, la más representativa.

El modelo empleado en las simulaciones difiere del comúnmente usado, que consiste en un módulo de oficina a una orientación donde todas las paredes son adiabáticas, excepto la fachada con el vano acristalado. En este caso, la simulación se comienza considerando todos los vanos de la planta con vidrios monolíticos, los cuales son sustituidos posteriormente por los dobles reales y ficticios, por orientaciones de fachada, reflejando el efecto sobre la planta modelo cuadrada.

## VIDRIOS DE EXPERIMENTACIÓN

En la investigación se han utilizado tres tipologías de vidrios muy comunes en la edificación. Una configuración simple, correspondiente al monolítico sencillo, que fue definida con el edificio modelo de planta rectangular, y dos configuraciones dobles. De estas últimas, una sin tratamiento, el doble claro, y otra con tratamiento de baja emisividad en la cara dos, correspondiente a un doble bajo emisivo (Tabla 5). Estas tres tipologías son, en definitiva, las adoptadas para el primer análisis de comportamiento del vidrio, según su configuración y tratamiento de capa.

Vidrio	Código	U (W/m <sup>2</sup> K)	FS (-)	TL (%)
<p>Monolítico sencillo</p>	RE_MS	5,7	0,85	91
<p>Doble claro</p>	RE_DC	2,8	0,72	79
<p>Doble bajo emisivo</p>	RE_BE	1,6	0,41	69

Tabla 5. Vidrios de experimentación reales. Valores parámetros U, FS y TL. Fuente: Elaboración de los autores a partir de Guardian SunGuard, Empresa de vidrios. Información Técnica.

Vidrio	Código	U (W/m²K)	FS (-)	TL (%)
Monolítico	RE_MS	5,7	0,85	91
Doble claro	RE_DC	2,8	0,72	79
Doble claro ficticios	FI_DC02	2,8	0,72	69
	FI_DC06	2,8	0,41	79
	FI_DC08	2,8	0,41	69
Bajo emisivo	RE_BE	1,6	0,41	69
Bajo emisivo ficticios	FI_BE02	1,6	0,41	79
	FI_BE06	1,6	0,72	79
	FI_BE08	1,6	0,72	69

Tabla 6. Vidrios de experimentación reales y ficticios. Valores parámetros U, FS y TL. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 4. Consumo de calefacción, a la izquierda, y de refrigeración, a la derecha, con vidrios según prestación en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

En cambio, para conocer el comportamiento del vidrio por parámetros característicos es necesario contemplar, además de las tres tipologías anteriores, seis vidrios ficticios adicionales, creados expresamente a partir de la combinación de los valores de transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa de los dos vidrios: doble sin tratamiento y de baja emisividad (Tabla 6). Tres son doble claro (FI\_DC02, FI\_DC06, FI\_DC08) y los otros tres son bajo emisivo (FI\_BE02, FI\_BE06, FI\_BE08).

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO SEGÚN CONFIGURACIÓN Y TRATAMIENTO DE CAPA

Si se compara el vidrio doble claro y doble bajo emisivo, en un ambiente con calefacción, se obtiene menor consumo con el vidrio doble claro, caracterizado por tener la transmitancia térmica mayor ( $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). En refrigeración, en cambio, se obtiene menor consumo con el bajo emisivo ( $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) (Figura 4). Si se analiza el parámetro factor solar, el vidrio doble claro, con el que se obtiene menor consumo en calefacción, es el que tiene un valor mayor (0,72). En refrigeración, el vidrio doble bajo emisivo, con el que se obtiene menor consumo, es el que presenta un valor menor (0,41). En iluminación, el menor consumo se obtiene con el vidrio que posee el mayor valor de transmisión luminosa, independientemente del valor de la transmitancia y del factor solar (Figura 5).

### COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Al comparar, en este caso, el vidrio doble claro, el doble bajo emisivo y los ficticios creados con cada una de las dos tipologías anteriores, es con el vidrio FI\_BE08 ( $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 0,72, 69 %) con el que se consigue menor consumo en calefacción. Este se caracteriza por tener la transmitancia térmica más baja, el factor solar más alto y la transmisión luminosa más baja. En refrigeración, se obtiene menor consumo con el vidrio FI\_DC06 ( $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 0,41, 79 %), identificado con la transmitancia térmica más alta, el factor solar más bajo y la transmisión luminosa más alta. Tales valores de parámetros son opuestos a los obtenidos con el vidrio FI\_BE08 en calefacción (Figura 6). En iluminación, un menor consumo se obtiene con el vidrio RE\_DC ( $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 0,72, 79 %) y con el FI\_BE06 ( $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 0,72, 79 %). Ambos se distinguen por tener los parámetros de transmisión luminosa y de factor solar más altos (Figura 7). Tanto en calefacción como en refrigeración e iluminación, se obtiene el mismo resultado en todas las orientaciones y ciudades.

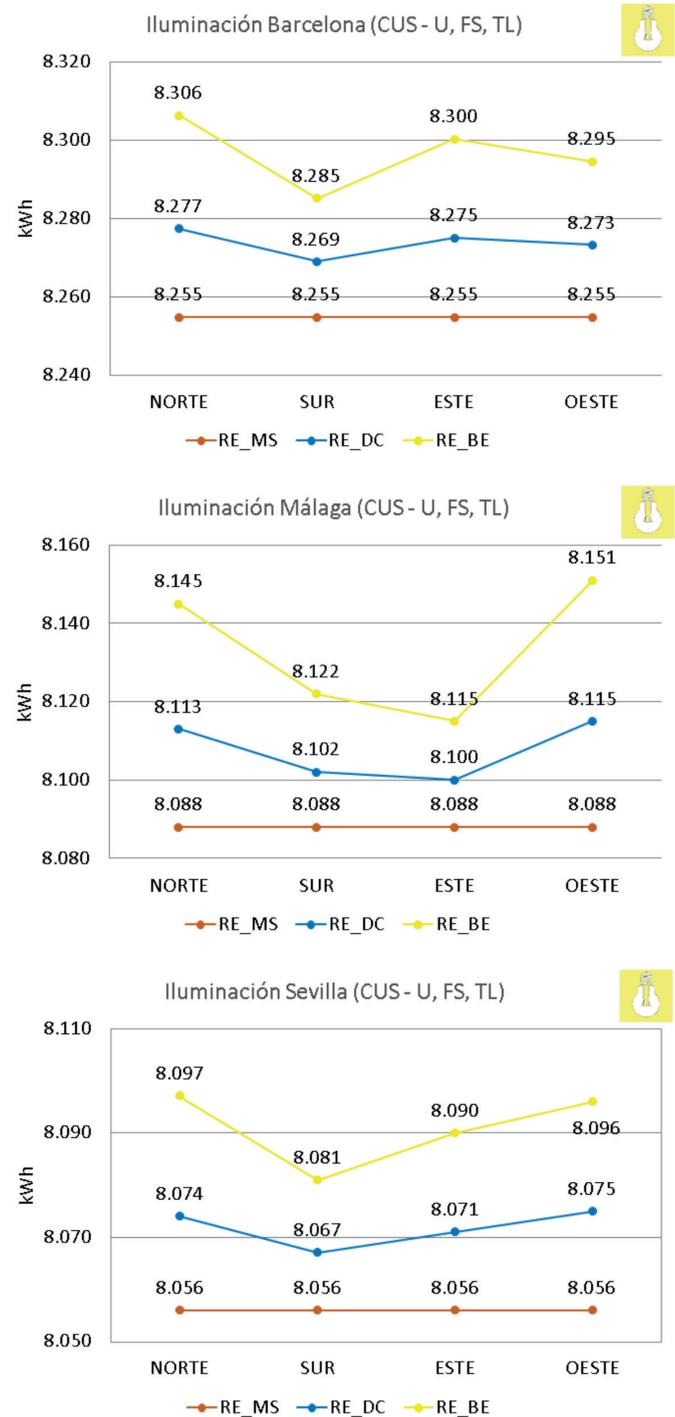


Figura 5. Consumo de iluminación con acristalamientos según prestación en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

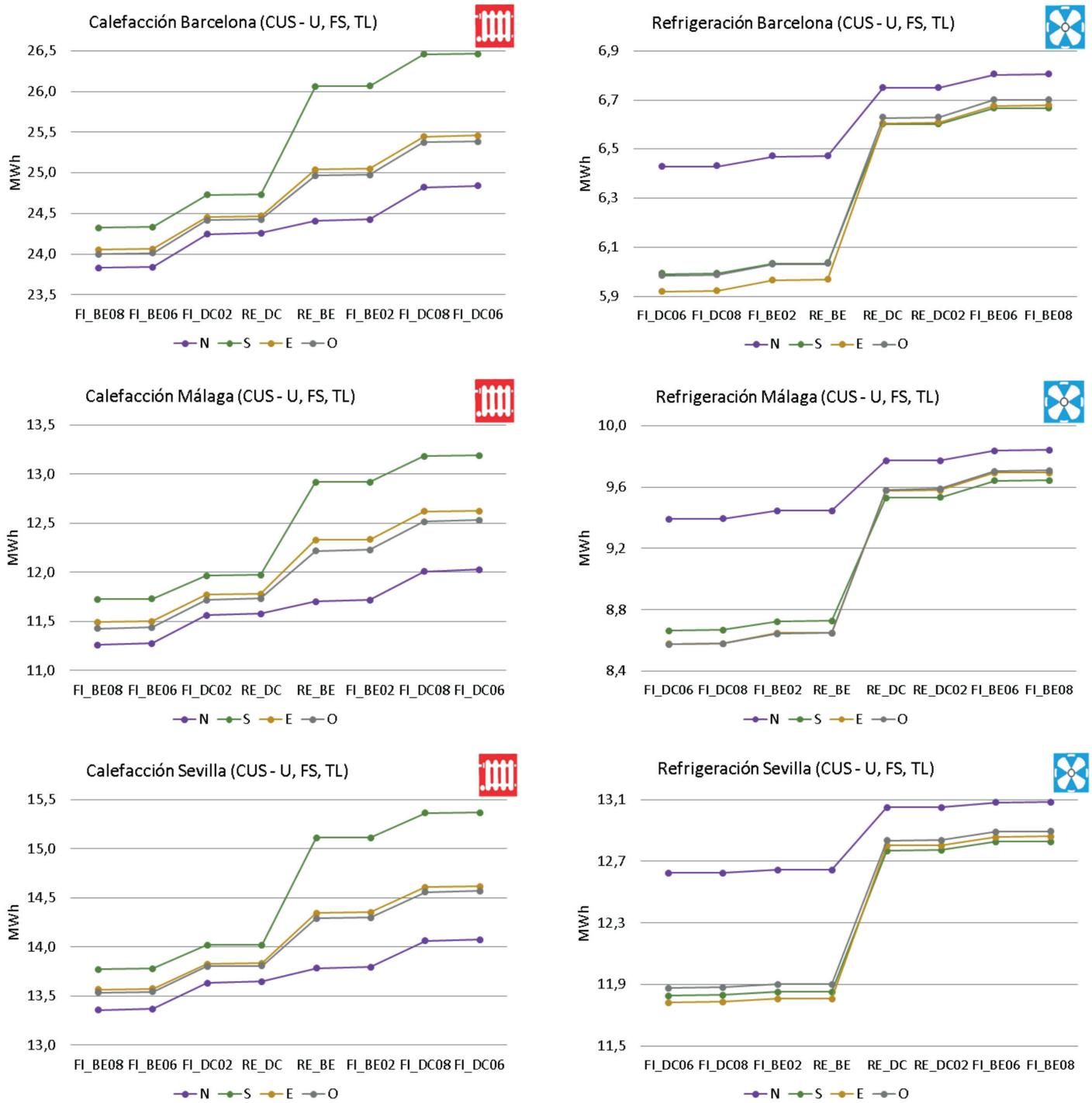


Figura 6. Consumo de calefacción, a la izquierda, y refrigeración, a la derecha, con la combinación de parámetros en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

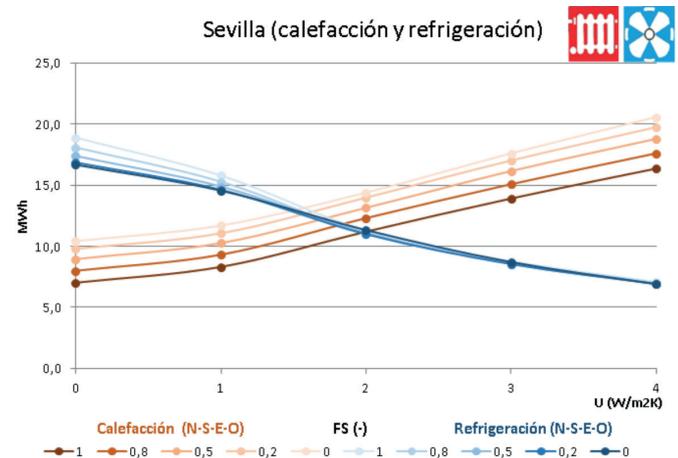
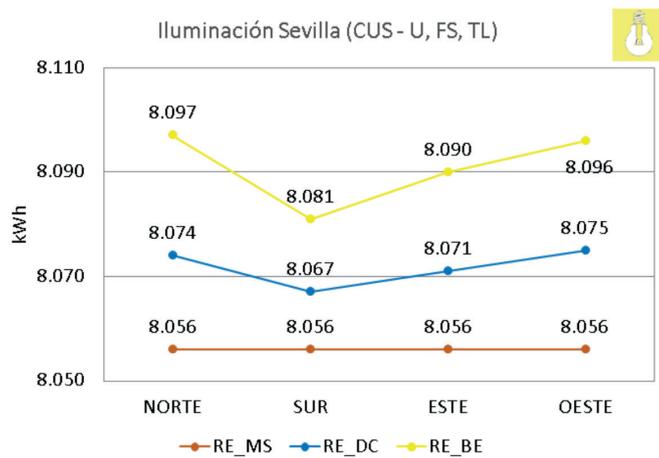
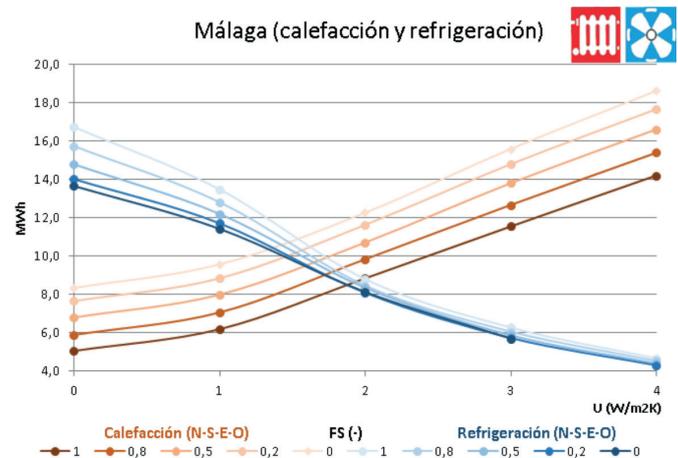
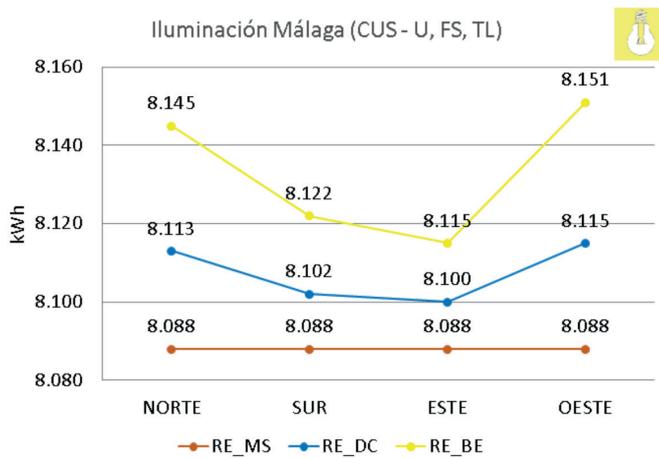
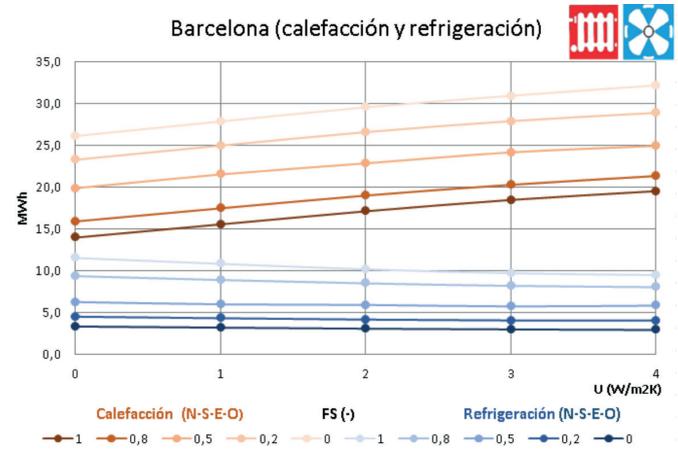
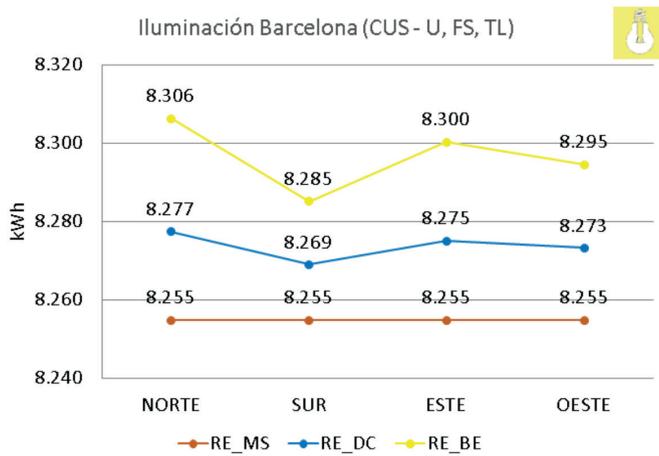


Figura 7. Consumo de iluminación con la combinación de parámetros en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 8. Consumo de calefacción y refrigeración con la combinación de parámetros U (0, 1, 2, 3 y 4 W/m<sup>2</sup>K) y FS (0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1), en Barcelona, Sevilla y Málaga. Fuente: Elaboración de los autores.

Para el rango de parámetros de vidrios dobles reales y sus correspondientes ficticios, en calefacción, se consigue un menor consumo energético con el vidrio que tiene una transmitancia térmica baja y factor solar alto. Y en refrigeración, con el vidrio que tiene una transmitancia térmica alta y factor solar bajo. Con el fin de comprobar si la reducción del consumo energético se mantiene igual para valores de transmitancia térmica y factor solar más amplios, se realiza un último grupo de simulaciones compuesto por la combinación de valores de transmitancia térmica de: 0, 1, 2, 3 y 4 W/m<sup>2</sup>K con valores del factor solar de: 0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1. Cada combinación es considerada y sustituida en todas las orientaciones cada la vez.

En las gráficas de las tres ciudades se puede apreciar, que el consumo energético es menor cuanto más baja es la transmitancia térmica y mayor es el factor solar en calefacción, y cuanto mayor es la transmitancia y menor es el factor solar en refrigeración. Únicamente se obtiene un menor consumo en un caso aislado en refrigeración en Sevilla, cuyo valor de transmitancia térmica es de 2 W/m<sup>2</sup>K y de factor solar, 0 (Figura 8).

Se puede observar cómo en Barcelona, que presenta un clima más suave en verano y más severo en invierno, es la calefacción la que domina el impacto anual por lo cual un factor solar alto y valores de transmitancia bajos son la mejor opción. Pero en climas más cálidos, como los de Sevilla y Málaga, se debe encontrar un punto intermedio en la transmitancia, entre 1,9 a 2,0 W/m<sup>2</sup>K. Valores por debajo del umbral reducen el consumo en invierno, aminorando las pérdidas de calor, y por encima, reducen el consumo en verano, incrementándose la disipación de calor.

## CONCLUSIONES

La metodología expuesta, que parte de la identificación de un modelo de edificio de oficinas representativo, ha permitido conocer el comportamiento teórico del vidrio de vanos de fachadas en la reducción del consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial. Ello ha sido posible tanto desde el punto de vista de la configuración, con y sin capa bajo emisiva, como de los tres parámetros característicos: transmitancia, factor solar y transmisión luminosa. Para la labor, fue necesario disponer de datos estadísticos de las construcciones y geometrías más representativas a través del análisis de informes y datos públicos

oficiales. También se requirió identificar los vidrios más comúnmente empleados y comercializados. Además, fue preciso ajustar la planta modelo inicial de forma rectangular a una cuadrada, con el fin de conseguir una igualdad de condiciones en todas las orientaciones que permitiera las comparaciones de las diferentes tipologías de vidrios: una situación ideal consistente en igualdad de fachadas, distribución de espacios y condiciones internas.

### COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO SEGÚN CONFIGURACIÓN CON Y SIN CAPA BAJO EMISIVA

En el estudio del vidrio por configuración y tratamiento de capa, se ha visto cómo aquel con transmitancia térmica más baja, característico del doble bajo emisivo, obtiene un consumo de calefacción mayor. Resultado que contradice el concepto que se tiene de dicha tipología, pues al tener menor valor de transmitancia térmica es asociado con una mayor reducción del consumo energético en calefacción. En refrigeración, es en cambio el vidrio bajo emisivo con el que se consigue un menor consumo. Esto sucede en todas las orientaciones y zonas climáticas con los vidrios dobles sin tratamiento y bajo emisivo. Escenarios que son debidos, en parte, a la influencia del valor bajo y alto del parámetro factor solar de cada vidrio.

En iluminación artificial, se consigue mayor reducción energética con el monolítico sencillo, caracterizado por tener la transmisión luminosa y factor solar mayores. Dicho resultado se obtiene igualmente en todas las orientaciones y zonas climáticas.

### COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL VIDRIO

A diferencia del análisis del vidrio según su configuración y tratamiento de capa, aquí se crearon unidades ficticias de la combinación de los parámetros característicos de los vidrios dobles claro y bajo emisivo.

Un menor consumo de calefacción se consiguió con el vidrio que presentaba la transmitancia térmica más baja y factor solar más alto. En refrigeración, esto se correspondió con el vidrio con transmitancia térmica alta y un factor solar bajo. Combinación de valores de transmitancia térmica y factor solar que permiten, en el periodo de calefacción, menor pérdida de energía térmica y mayor ganancia solar,

mientras que, en refrigeración, mayor flujo de energía térmica (disipación del calor del interior al exterior de forma pasiva) y menor ganancia solar. Dichos valores de parámetros permiten, en el caso de estudio por configuración y tratamiento de capa, que el vidrio doble claro y doble bajo emisivo tenga un mayor efecto en la reducción del consumo energético en invierno o verano, respectivamente, en las tres ciudades estudiadas. En cuanto a la iluminación artificial, la reducción del consumo es mayor cuanto más elevado sea el valor de la transmisión luminosa y factor solar. El comportamiento de los parámetros se mantiene igual en todas las orientaciones y zonas climáticas.

En líneas globales, los vidrios deben ser seleccionados por el valor de los parámetros característicos y no de acuerdo al nombre generalizado con el que se les suele identificar, por ejemplo, bajo emisivo o con control solar. Efectivamente, el mayor ahorro energético se consigue a través de la combinación ideal de los tres parámetros, y esta será distinta según lo que se quiera reducir: la calefacción o la refrigeración.

## FUTURAS INVESTIGACIONES

En futuras investigaciones, se propone el diseño de una herramienta de selección de vidrio que considere el periodo anual. Primero, centrar el estudio en el confort térmico (parámetros de transmisión térmica y coeficiente de ganancia de calor solar), considerando el efecto del calor liberado por los dispositivos de iluminación artificial. Y más adelante, incorporar aspectos tales como, características de la habitación, comportamiento del usuario frente al uso de elementos de sombra interiores, deslumbramiento, suciedad en los vidrios, edificios cercanos y la colocación óptima del sensor de luz.

También se investigará sobre el efecto del cambio climático en la selección de los vidrios, ya que el ciclo de vida de estos es cercano a los 50 años, por lo que se debe incluir un análisis sobre los métodos de ahorro futuro de energía y sobre aquellos que, por el contrario, perjudican la eficiencia.

Por último, se puede abordar otras ciudades del Mediterráneo y comprobar si se repite el mismo patrón que entre Sevilla y Málaga, al sur, con respecto a Barcelona, más al norte.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Vidrio para la Edificación. Determinación de las características luminosas y solares acristalamientos. UNE-EN 410, 2011a.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica (valor U). UNE-EN 673, 2011b.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE FACHADAS LIGERAS Y VENTANAS. Guía Técnica de Ventanas para la Certificación Energética de Edificios. ASEFAVE: 2014.

BODART, M. y DE HERDE A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylight. *Energy and Buildings*, 2002, vol. 34, pp. 421-429.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). *Real Decreto 314/2006*, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, 2006.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Documento básico habitabilidad energía 2. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (versión consolidada): septiembre 2013*. España: Ministerio de Fomento, 2013.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Documento Básico Habitabilidad Energía 1. Limitación de la demanda energética: junio 2017*. España: Ministerio de Fomento, 2017.

DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA, VIVIENDA Y SUELO. *Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio: abril 2014*. España: Ministerio de Fomento, 2014.

DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Directiva 2010/31/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea, nº L 153. Unión Europea, 2010.

ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA 2004-2012 [en línea]. Sector Edificación, 2003. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: [https://previa.uclm.es/profesorado/vtoledano/\\_private/Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20Espa%C3%B1a.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/vtoledano/_private/Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20Espa%C3%B1a.pdf).

FRANZETTI, Christelle; FRAISE, Gilles y ACHARD, Gilbert. Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on the thermal loads in office buildings. *Energy and Buildings* [en línea], 2004, vol. 36, pp. 117-126. DOI: 10.1016/j.enbuild.2003.10.005.

GIMÉNEZ MOLINA, María del Carmen. *Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2011.

GOIA, Francesco. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Solar Energy* [en línea], 2016, vol. 132, pp. 467-492. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.031>.

GRYNNING, Steinar; GUSTAVSEN, Arild; TIME, Berit y JELLE, Bjorn Petter. Windows in the buildings of tomorrow: Energy losers or energy gainers? *Energy and Buildings* [en línea], 2013, vol. 61, 185-192. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.029>.

HEE, W.J.; ALGHOUL, M.A.; BAKHTYAR, B.; ELAYEB, O.; SHAMERI, M.A.; ALRUBAIH, M.S. y SOPIAN K. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2015, vol. 42, pp. 323-343. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.020031>.

HUANG, Yu; NIU, Jian-lei y CHUNG, Tse-ming. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. *Applied Energy* [en línea], 2014, vol. 134, pp. 215-228. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.100>.

HUNGER, Tomás. La humanidad ante el temido efecto de las 400 ppmde CO<sub>2</sub>. *Ciencias* [en línea], 8 noviembre 2016, p. 19. [Consultado 12 abril 2019]. Disponible en: <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/330406028-La-Humanidad-Ante-El-Temido-Hito-de-Las-400-Ppm-de-CO2.pdf>

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas: marzo 2001. Madrid: IDAE, 2001.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*. Soluciones de Acristalamiento y Cerramiento Acristalado: septiembre 2008. Madrid: IDAE, 2008.

IHARA, Takeshi; GUSTAVSEN, Arild y JELLE, Bjørn Petter. Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 158 pp. 422-432. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.074>.

JABER, Samar y AJIB, Salman. Thermal and economic windows design for different climate zones. *Energy and Buildings* [en línea], 2011, vol. 43 pp. 3208-3215. DOI: [10.1016/j.enbuild.2011.08.019](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.019)

KIM, Seok-Hyun; KIM, Sun-Sook.; KIM Kwang-Woo y CHO, Young-Hum. A study on the proposes of energy analysis indicator by the window elements of office buildings in Korea. *Energy and Buildings* [en línea], 2014, vol. 73, pp. 153-165. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.061>.

LEE, Chijoo y WON, Jongsung. Analysis of combinations of glazing properties to improve economic efficiency of buildings. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2017, vol. 166 pp. 181-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.024429>.

LEE, J.W.; JUNG, H.J.; PARK, J.Y.; LEE, J.B. y YOON, Y. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. *Renewable Energy*, 2013 [en línea], vol. 50, pp. 522-531. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029016>.

MA, Peizheng; WANG, Lin-Shu y GUO, Nianhua. Maximum window-to-wall ratio of a thermally autonomous building as a function of envelope U-value and ambient temperature amplitude. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 146, pp. 84-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.103020031>.

MÉNDEZ ECHENAGUCIA, Tomás; CAPOZZOLI, Alfonso; CASCONI, Ylenia y SASSONE Mario. The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 54, pp. 577-591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.090>.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA. Decreto 3565/72 por el que se establecen las normas tecnológicas de la edificación NTE. *Boletín Oficial del Estado*, n.º 13. España, 1972.

ORDÓÑEZ GARCÍA, Arturo. *Manual de ayuda DesignBuilder en español*. Versión del manual 2014.12.03. Sol-Arq., 2014.

PINO, Alan; BUSTAMANTE, Waldo; ESCOBAR, Rodrigo y ENCINAS PINO, Felipe. Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings* [en línea], 2012, vol. 47 pp. 441-449. DOI: [10.1016/j.enbuild.2011.12.016](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.016).

POIRAZIS, Harris; BLOMSTERBERG, Ake y WALL María. Energy simulations for glazed office buildings. *Energy and Buildings* [en línea], 2008, vol. 40, pp. 1161-1170. DOI: [10.1016/j.enbuild.2007.10.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.011).

RUBIO-BELLIDO, Carlos; PÉREZ FARGALLO, Alexis; PULIDO ARCAS, Jesús A. Optimization of annual energy demand in office buildings under the influence of climate change in Chile. *Energy* [en línea], 2016, vol. 114, pp. 569- 585. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.021>.

SERVICIOS ELECTRÓNICOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO [en línea]. [Consultado 10 abril 2019]. Disponible en: <https://www.sedecatastro.gob.es/>.

SHIBUYA, Toshihiko y CROXFORD, Ben. The effect of climate change on office building energy consumption in Japan. *Energy and Buildings* [en línea], 2016, vol. 117, pp. 149-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.023>.

TIAN, Cheng; CHEN, Tingyao; YANG, Hongxing y CHUNG, Tse-ming. A generalized window energy rating system for typical office buildings. *Solar Energy* [en línea], 2010, vol. 84, pp. 1232–1243. DOI: [10.1016/j.solener.2010.03.030](https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.03.030).

TSIKALOUDAKI, Katerina; LASKOS, K. Konstantinos; THEODOSIOU, Theodoros y BIKAS, Dimitrios. Assessing cooling energy performance of windows for office buildings in the Mediterranean zone. *Energy and Buildings* [en línea], 2012, vol. 49, pp. 192-199, DOI: [10.1016/j.enbuild.2012.02.004](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.004).



