



Revista  
Hábitat  
Sustentable

ISSN 0719-0700

Vol. 8 N°. 1

Junio

2018



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO





**Revista  
Hábitat  
Sustentable**

ISSN 0719-0700

Vol. 8 N°. 1

junio

2018



**UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO**



---

**RECTOR:**  
HÉCTOR GAETE FERES

**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

**EDITORA GENERAL:**  
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

**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

Dra. PAULINA WEGERTSEDER / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

---

**CONSEJO EDITORIAL:**

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

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

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

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

Dra. CRISTINA ENGEL / Universidad Federal, Vitoria, Brasil.

Dr. ERNESTO KUCHEN / Universidad Nacional de San Juan, Argentina

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

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

---

**TRADUCCIONES:**  
THERESA ST JOHN

**DIRECTOR DE ARTE Y DIAGRAMACIÓN:**  
IGNACIO A. SÁEZ ARANEDA

**FOTOGRAFÍA PORTADA:**  
ALEJANDRA BANCALARI CORNEJO / Cúpula edificio Reichstag, Berlin Alemania

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

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 Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura 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 REFLECTANCIA DE LAS ENVOLVENTES VERTICALES Y SU INFLUENCIA SOBRE DISPONIBILIDAD DE LUZ NATURAL EN EL CAÑÓN URBANO DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN

Sergio Andrés Venegas Quintulén, María Beatriz Piderit Moreno

## 16 ASPECTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE LA LUZ SOLAR EN RECINTOS URBANOS DE ALTA DENSIDAD EDILICIA EN CLIMAS SOLEADOS (PERÍODO INVERNAL)

Lorena Córica, María Angélica Ruiz

## 28 POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN TECHUMBRE DE EDIFICIOS INDUSTRIALES DE ALTA DEMANDA ENERGÉTICA, EN ZONAS ECUATORIALES

Diego Sebastián Marín-López, Esteban Felipe Zalamea-León, Edgar Antonio Barragán-Escandón

## 42 CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE METODOLOGÍAS INTERNACIONALES Y NORMAS IRAM PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL EDILICIA DE LA VIVIENDA: ANÁLISIS DIRIGIDO A LA CONTEXTUALIZACIÓN REGIONAL PARA ZONAS ÁRIDAS DE ARGENTINA.

Analia Alejandra Alvarez, Arturo Florentino Buigues Nollens

## 54 MONITOREO ENERGÉTICO Y ESTRATEGIAS DE RETROFIT PARA VIVIENDAS SOCIALES EN CLIMA FRÍO

Micaela Andersen, Carlos Alberto Discoli, Graciela Melisa Viegas, Irene Martini

## 68 INFLUENCIA DEL USO Y GESTIÓN DE LA ENVOLVENTE EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VERANO DE UNA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE MENDOZA, ARGENTINA

Soledad Elisa Andreoni Trentacoste, Carolina Ganem Karlen



Artículo  
Recibido 21-12-2017  
Aceptado 30-05-2018

# REFLECTANCIA DE LAS ENVOLVENTES VERTICALES Y SU INFLUENCIA SOBRE DISPONIBILIDAD DE LUZ NATURAL EN EL CAÑÓN URBANO DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.

REFLECTANCE OF THE VERTICAL ENVELOPES AND ITS INFLUENCE ON THE AVAILABILITY OF NATURAL LIGHT IN THE URBAN CANYON OF THE CITY OF CONCEPCIÓN.

SERGIO ANDRÉS VENEGAS QUINTULÉN  
Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética  
Universidad del Bío-Bío, Concepción Chile  
svenegasq@gmail.com

MARÍA BEATRIZ PIDERIT MORENO  
Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura  
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
mpiderit@ubiobio.cl

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo evaluar la influencia de los materiales en las envolventes verticales sobre la disponibilidad de luz natural, en escenarios urbanos representativos de la ciudad de Concepción, con el fin de conocer el potencial de los materiales para aportar luz natural. La metodología se basa en la selección de casos de estudio del centro histórico de Concepción para armar modelos simplificados según su relación alto/ancho (H/W). Dentro de cada caso se escogen materiales de fachadas que muestren mayor presencia en el cañón urbano, para calcular su reflectancia y ser aplicados a los escenarios simulados. Los resultados demuestran que la disponibilidad de luz natural exterior se ve directamente condicionada por la relación geométrica del cañón urbano, la cual disminuye conforme aumenta la relación H/W. Se comprueba que el aporte lumínico debido al coeficiente de reflectancia del material que compone la fachada es mayor conforme aumenta la relación H/W, es decir, mientras mayor sea la densidad del cañón urbano, mayor será la importancia de las propiedades reflectantes de los materiales de fachadas frente a la disponibilidad de luz natural.

## Palabras clave

luz natural, reflectancia, cañón urbano, envolvente.

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the influence a vertical envelope's material has on the availability of natural light in urban settings representative of the city of Concepción, in order to know the potential of these materials to provide natural light. The methodology was based on the selection of case studies from the historic Concepción downtown to build simplified models according to their height/width ratio (H/W). In each case, façade materials with greater presence in the urban canyon were chosen to calculate their reflectance and use in the simulated settings. The results show that the availability of exterior natural light is directly conditioned by the geometric relationship of the urban canyon, which decreases as the H/W ratio increases. It was confirmed that the lighting contribution from the reflection coefficient of the façade's material is greater as the H/W ratio increases, that is to say, the greater the density of the urban canyon, the greater the importance of the reflective properties of the façade materials with regards to the availability of natural light.

## Keywords

natural light, reflectance, urban canyon, envelope.



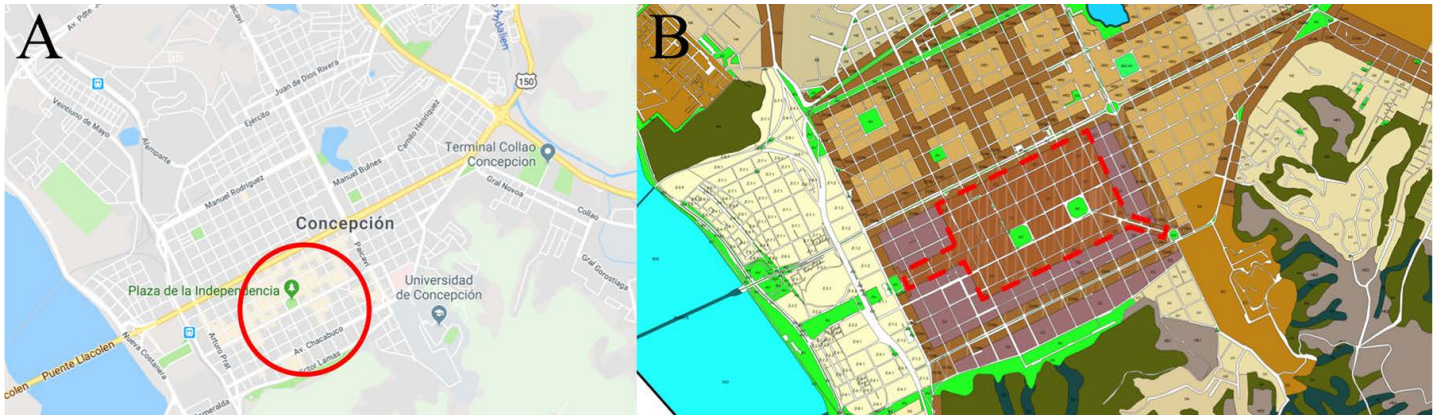


Figura 1: A: Plano de Concepción; B: Área de estudio.  
 Fuente: A: Google Maps; B: Plan Regulador Comunal de Concepción.

## INTRODUCCIÓN

La superficie de la ciudad se compone de un mosaico de diferentes materiales, a los que denominamos la envolvente urbana (Alchapar y Correa, 2015). Cada uno de esos materiales muestra distintos comportamientos en función de sus propiedades ópticas, lo que impacta en la manera que percibimos el paisaje urbano. Así también, cada material que compone la envolvente urbana tiene diferente capacidad de reflejar la radiación solar recibida, lo cual altera la fracción de radiación absorbida o reflejada por la ciudad (*ibídem*). El concepto de reflectancia se refiere a una fracción de la radiación solar incidente reflejada de una superficie o un cuerpo (Gaffin et al., 2012), los que intervienen directa o indirectamente en la repartición y distribución de la luz dependiendo de su textura y su color (Ramírez y Orozco, 2015).

El vínculo entre densidad urbana y la disponibilidad de luz natural en los espacios habitables, ya sean exteriores o interiores, se encuentra en un complejo equilibrio entre factores propios del territorio y patrones espaciales del ambiente construido, el uso de los espacios urbanos, de los edificios y las propiedades ópticas de la envolvente urbana. El efecto de la sombra emitida por un edificio de gran altura es, en este contexto, un caso sencillo, ya que la incidencia de la sombra en otros edificios o espacios urbanos puede ser positiva o negativa, de acuerdo con las exigencias bioclimáticas del lugar y la estación (Mesa, Corica, y Pattini, 2011).

En términos geométricos, el cañón urbano se describe como la relación entre la altura de los edificios (H) y el distanciamiento entre edificios adyacentes (W) (Strømman-Andersen y Sattrup, 2011). Pero, si bien el impacto de la geometría urbana y las cualidades reflectivas de los materiales en el microclima urbano está bien establecido (*ibídem*), los estudios han tendido a centrarse en problemas de sobrecalentamiento en climas cálidos, en el efecto de la isla de calor y en el confort urbano (Alchapar, Correa y Cantón, 2012; Alchapar y Correa, 2015; Yuan, Farnham y Emura, 2015). De esta manera, el impacto de los elementos arquitectónicos y reflejo de materiales fuera de los edificios no se ha estudiado en profundidad (Nasrollahi y Shokri, 2016).

La iluminación juega un papel fundamental para el desarrollo de las actividades sociales, educativas, comerciales e industriales

(Monteoliva y Pattini, 2013), pero la importancia de utilizar la luz natural dentro de los espacios habitables no radica sólo en el ahorro de energía, sino también en el hecho de que la mayoría de las personas muestran preferencia por la luz natural tanto en sus hogares como en edificios no residenciales (Mesa, Corica, y Pattini, 2011), por sus características ventajosas sobre la salud, el estado de ánimo y la productividad de las personas. Así como el empleo del tabique, el acero, la piedra y el concreto, la luz no debe emplearse como simple elemento decorativo sino como parte estructural de la arquitectura (Arias, Ávila, 2007).

El objetivo de este estudio es evaluar la influencia del coeficiente de reflectancia de materiales presentes en las envolventes verticales sobre la disponibilidad de luz natural, en escenarios urbanos representativos de la ciudad de Concepción, con el fin de conocer el potencial de dichos materiales en fachadas, para aportar luz natural aprovechable por los edificios.

La metodología utilizada para esos fines se basó, en una primera etapa, en la búsqueda y estudio de tipologías del cañón urbano en Concepción. Ello se desarrolló a través de un mapeo de la ciudad, haciendo uso de la Ordenanza Local del Plan Regulador Comunal de Concepción (Ilustre Municipalidad de Concepción, 2017), utilizando herramientas como Google Map y Google Earth y recorriendo las calles del centro de la ciudad para definir y contextualizar un área de estudio según la normativa y la realidad actual de la ciudad. La segunda etapa consistió en la selección de cañones urbanos proporcionados entre sí, dentro del área de estudio, para generar casos basados en su relación H/W y materialidad (Strømman-Andersen y Sattrup, 2011). Luego se escogieron las materialidades de fachadas más predominantes y se determinaron los valores de reflectancias ( $\rho$ ) para cada una de ellas. La reflectancia se determinó a través del método hemispherical-hemispherical reflectance ( $\rho_{hh}$ ) (Córca y Pattini, 2005), haciendo uso de un medidor de luminancia Konica Minolta LS-110 y una tarjeta de grises Vitamall utilizada en fotografía, como estándar para el balance de exposición y color. A partir de las muestras obtenidas, se seleccionaron tres materialidades representativas ( $\rho$  menor,  $\rho$  promedio y  $\rho$  mayor), lo que permitió conocer el aporte del coeficiente de reflectancia sobre la disponibilidad de luz natural exterior. En la tercera etapa, se analizaron los aportes de luz natural en las envolventes verticales de cada caso de

cañón urbano mediante simulación dinámica, con el programa Radiance (a través SketchUp plugin Groundhog), considerando los coeficientes de reflectancia definidos, la orientación de las dos fachadas que componen el cañón y los distintos niveles de pisos. Radiance es un programa de simulación lumínica altamente capaz (Greenup y Edmonds, 2004) que ha sido validado por diferentes investigadores en diferentes casos y los resultados obtenidos se han encontrado en buen acuerdo con las mediciones experimentales y reales (Freewan, Gharaibeh y Jamhawi, 2014).

## DESARROLLO

### ESTUDIO DE TIPOLOGÍAS MORFOLÓGICAS DEL CAÑÓN URBANO DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN

Se delimita como área de estudio al sector céntrico de la ciudad perteneciente a la Zona C1 del Plan Regulador Comunal de Concepción (Figura 1). Se escoge este sector debido a su condición céntrica y a que comprende la zona con la mayor densificación dentro del tejido urbano de Concepción. Por esta razón, la Zona C1 es un sector crítico, en donde la altura de las edificaciones y ancho de las vías juegan un rol primordial en la cantidad de luz natural captada por el espacio urbano y la influencia de la materialidad de la envolvente urbana será mayor.

Se definen las orientaciones predominantes dentro de la trama urbana de la ciudad de Concepción para ser aplicadas a los casos de cañones y estudiar escenarios en distintos contextos de asoleamiento. Las orientaciones se agrupan principalmente en noreste/suroeste y noroeste/sureste, cuyos ángulos, medidos en sentido de las agujas del reloj, entre el eje norte y el eje de la calzada, son de  $62,76^\circ$  y  $152,76^\circ$ , y se encuentran enfrentando las fachadas noroeste/sureste y noreste/suroeste, respectivamente (Figura 2).

Para la selección de casos se otorgó prioridad a aquellas secciones del área de estudio que presentaran mayor continuidad a lo largo de sus fachadas, con el fin de acentuar la influencia de los materiales en la disponibilidad de luz natural. Se buscaron secciones cuyas alturas edilicias fueran relativamente constantes para simplificar el análisis y que no existieran grandes diferencias entre la realidad y el modelo de cañón urbano. Se determinó, asimismo, una dimensión estándar de tres metros por nivel con el propósito de establecer la altura total de cada edificio de manera aproximada.

Concepción posee una variedad de tipologías en fachadas y cada una de ellas con un porcentaje de acristalamiento diferente, por lo que se escogió una tipología que fuera representativa de la ciudad (Figura 3). Así, se seleccionó un porcentaje de acristalamiento de 25%, el cual es común en los edificios históricos del centro de la ciudad.

Seguidamente, se analizaron las tipologías morfológicas presentes en el área de estudio para generar una muestra de casos diferenciados entre sí y de manera proporcionada entre sus relaciones H/W, en aras de asegurar una muestra

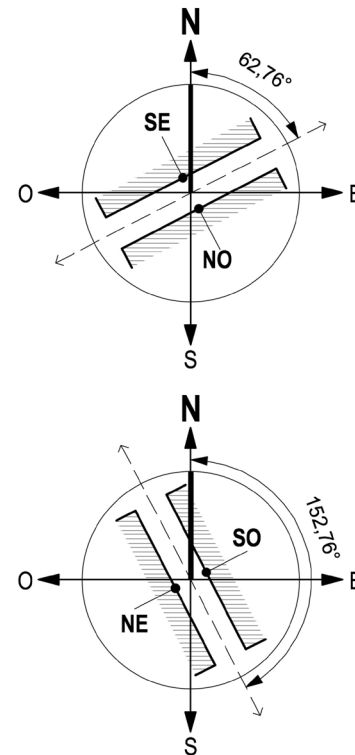


Figura 2: A: Orientación 1 (fachadas noroeste/sureste); B: Orientación 2 (fachadas noreste/suroeste). Fuente: Elaboración del autor.

variada y equilibrada. Además, se seleccionaron seis casos de cañones urbanos, tres por orientación, de tal forma que fueran representativos entre las mayores y menores relaciones H/W encontradas en el área de estudio. Se realizó el levantamiento del perfil de los seis cañones seleccionados a partir de sus orientaciones y relaciones H/W, calculadas en relación las alturas edilicias obtenidas y el distanciamiento entre las fachadas de cada caso (Figura 4).

Como es inexacta la altura promedio del perfil de los casos, en función de la dimensión estándar de tres metros, se modificó el último nivel, aumentando o disminuyendo la altura y la superficie de ventanas de éste, de modo que la altura del perfil total concordara con el promedio obtenido en cada caso y que la superficie de ventanas correspondiera al 25%, según su análisis (Tabla 1).

### DEFINICIÓN MATERIALIDADES PREDOMINANTES.

Se escogieron materiales de fachadas predominantes dentro de los casos seleccionados, para ser medidos conforme al método "hemispherical-hemispherical reflectance" ( $\rho_{hr}$ ). (Tabla 2). Se eligió como pavimento la superficie de hormigón ya que es el material más común dentro de los casos. El vidrio seleccionado es un vidrio simple cuyas propiedades ópticas son las establecidas en el programa Radiance. Estos materiales son constantes y se aplican a todos los modelos de cañones urbanos para igualar o asemejar las condiciones de análisis de todos los casos.

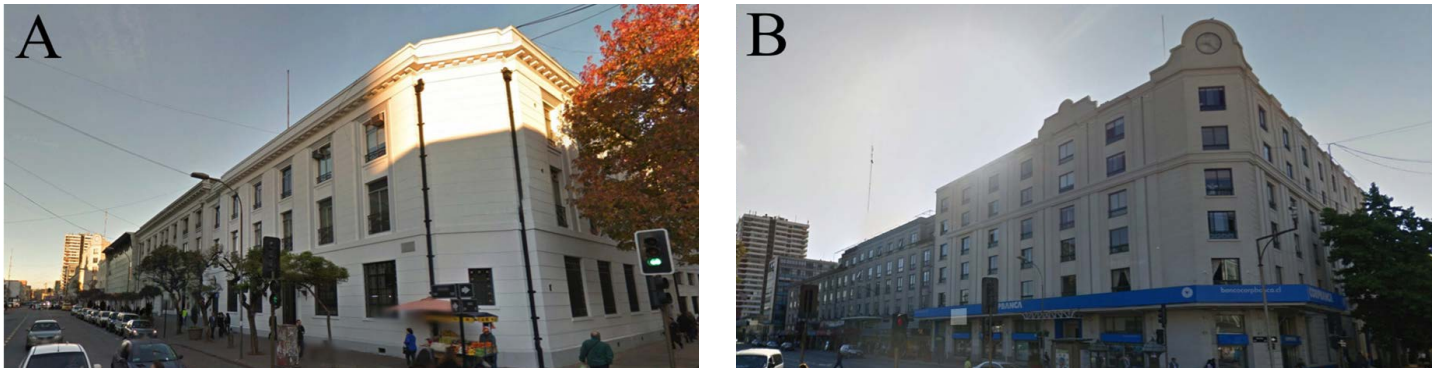


Figura 3: A: Edificio esquina O'Higgins/Caupolicán; B: Edificio esquina O'Higgins/Rengo.  
 Fuente: Google Street View.



Figura 4: Perfil de cañones urbanos seleccionados y ubicaciones.  
 Fuente: Elaboración del autor.

| Cañones Urbanos | Altura promedio (m) | N° niveles | Altura último nivel (m) | Superficie Unidad (m <sup>2</sup> ) | Superficie vano (m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---------------------|------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Caso 1          | 6,00                | 2          | 3,00                    | 30,00                               | 7,50                              |
| Caso 2          | 9,25                | 3          | 3,25                    | 32,50                               | 8,13                              |
| Caso 3          | 13,09               | 4          | 4,09                    | 40,90                               | 10,23                             |
| Caso 4          | 10,04               | 3          | 4,04                    | 40,40                               | 10,10                             |
| Caso 5          | 17,45               | 6          | 2,45                    | 24,50                               | 6,13                              |
| Caso 6          | 11,74               | 4          | 2,74                    | 27,40                               | 6,85                              |

Tabla 1. Cálculo de altura y superficie de ventanas del último nivel en casos de cañones urbanos.  
 Fuente: Elaboración del autor.



| IMAGEN  | MATERIAL              | TERMINACIÓN        | COLOR           | cd/m <sup>2</sup> tarjeta blanca | cd/m <sup>2</sup> tarjeta gris | cd/m <sup>2</sup> material | p1   | p2   | phh  |
|---|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------|------|------|
|    | Hormigón              | Rugoso, texturado  | Gris            | 575,2                            | 115,4                          | 139,6                      | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
|    | Cerámica              | Liso, texturado    | Ocre            | 1380                             | 263,7                          | 525,4                      | 0,34 | 0,36 | 0,35 |
|    | Hormigón              | Liso               | Beige           | 1160                             | 271                            | 591,7                      | 0,46 | 0,39 | 0,43 |
|    | Mortero               | Rústico            | Café            | 1328                             | 212,9                          | 508,7                      | 0,34 | 0,43 | 0,39 |
|    | Piedra pizarra        | Texturado          | Gris            | 687,2                            | 138,5                          | 172,9                      | 0,23 | 0,22 | 0,23 |
|    | Albañilería           | Liso               | Ocre            | 1009                             | 213,4                          | 149,2                      | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
|    | Mortero               | Rústico            | Azul            | 1065                             | 231,2                          | 115,1                      | 0,10 | 0,09 | 0,09 |
|    | Mortero               | Rústico            | Blanco          | 1233                             | 239,1                          | 1025                       | 0,75 | 0,77 | 0,76 |
|    | Cerámica              | Liso, texturado    | Beige           | 353,6                            | 63,98                          | 185,1                      | 0,47 | 0,52 | 0,50 |
|    | Granito reconstituido | Rugoso, grano fino | Gris            | 32,61                            | 6,72                           | 12,34                      | 0,34 | 0,33 | 0,34 |
|   | Hormigón              | Liso               | Naranja Pastel  | 717                              | 142                            | 551,3                      | 0,69 | 0,70 | 0,70 |
|  | Granito reconstituido | Liso, grano grueso | Amarillo pastel | 333,8                            | 68,49                          | 154,8                      | 0,42 | 0,41 | 0,41 |
|  | Hormigón              | Liso               | Blanco          | 141,6                            | 31,14                          | 138,6                      | 0,88 | 0,80 | 0,84 |
| Reflectancia promedio   |                       |                    |                 |                                  |                                |                            |      |      | 0,43 |

Tabla 2: Muestra de materiales con cálculo de reflectancia según método "hemispherical-hemispherical reflectance" ( $\rho_{hh}$ ).  
 Fuente: Elaboración del autor.

El método hemispherical-hemispherical reflectance (phh) consiste en la obtención de la reflectancia de un material a través de cálculos de proporción, con los que se obtienen dos reflectancias ( $p_1$  y  $p_2$ ). El cálculo se lleva a cabo a través de un medidor de luminancia que permite conocer los valores de candela por metro cuadrado ( $cd/m^2$ ) tanto del material a analizar como de las tarjetas de color blanco ( $p$ : 0,9) y gris medio ( $p$ : 0,18), cuyas reflectancias son conocidas. De esta forma se realizan los cálculos de proporción en base a la tarjeta blanca ( $p_1$ ) y la tarjeta gris ( $p_2$ ), para ser promediados y el resultado obtenido correspondería a la reflectancia del material analizado (phh).

## ESTUDIO DE LOS APORTES DE LUZ NATURAL EN ENVOLVENTE VERTICALES.

### Parámetros de simulación

Los cielos que con mayor frecuencia se presentan en Concepción, según la herramienta Ilumina Chile (Piderit), son el cielo intermedio (parcial nublado) junto al cielo cubierto (nublado); ambos se presentan con una frecuencia de un 32% en la ciudad. Para las simulaciones del estudio se seleccionó el cielo intermedio por presentar luz solar directa como variable,

permitiendo escenarios diferentes dentro de un año calendario en cuanto a condiciones de intensidad, altura y ángulo solar. Los valores de iluminancia exterior simulados son los establecidos en el programa Radiance para cielos intermedios (Radiance Script: #gensky mes día hora -a -36.77 -o 73.05 -m +60 +i > sky.rad).

El programa SketchUp se utilizó para modelar los casos de estudio por la sencillez en su utilización, su condición de gratuidad y por ser compatible con varias herramientas de análisis lumínico. Los escenarios de cañones urbanos se modelaron considerando la relación H/W de cada caso, un porcentaje de ventanas de 25 % y la reflectancia de tres materiales para las fachadas (Tabla 2).

Para la modelación de los escenarios de cañones urbanos, se definió una unidad básica que corresponde a un recinto de 50 m<sup>2</sup> cuyas dimensiones son 10 m de frente, 5 m de profundidad y 3 m de alto con un porcentaje de ventanas 25% en fachada, que corresponde a 3 ventanas de 1,4 m por 1,79 m (Figura 5). Se aplicaron grillas verticales en el área de las ventanas del módulo central de cada caso con el fin de conocer la disponibilidad de luz natural exterior aprovechable por los edificios en estos

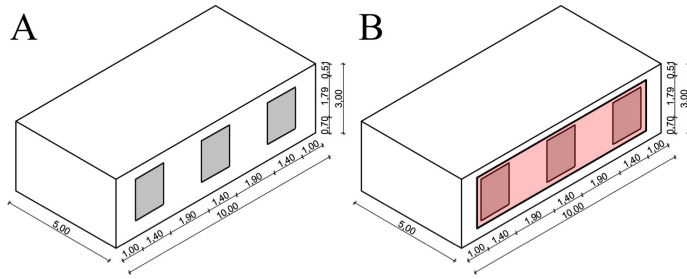


Figura 5: A: Unidad básica de cañones urbanos; B: Módulo central con grilla vertical. Fuente: Elaboración del autor.

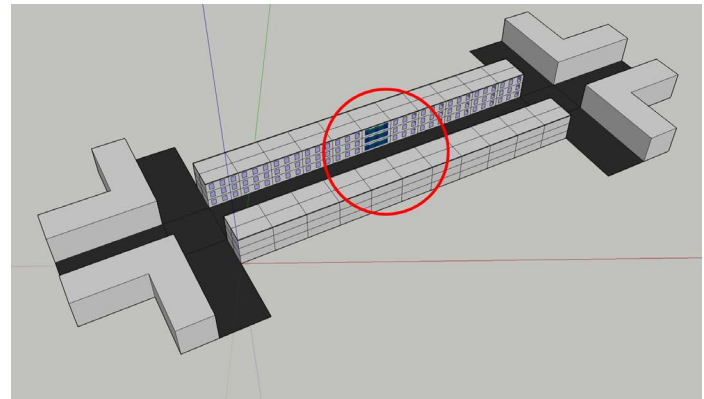


Figura 6: Ejemplo de caso de cañón urbano con grillas verticales en módulos centrales de cada fachada y nivel de piso. Fuente: Elaboración del autor.

puntos (Figura 6). Las grillas se aplicaron a través de una extensión gratuita y de código abierto de SketchUp llamada Groundhog (plugin), que permite crear rápidamente modelos que son leídos y procesados por el programa Radiance y así realizar el análisis de iluminación.

El escenario de cañón urbano se simuló considerando grillas verticales ubicadas en las fachadas de cada nivel de piso, a la altura de las ventanas, del módulo central y para ambas orientaciones predominantes: noroeste/sureste y noreste/suroeste (Figura 6). Luego se realizaron simulaciones de iluminancia para conocer la disponibilidad de luz natural exterior en cada uno de los escenarios conforme a su relación H/W y la reflectancia del material de fachadas.

Para las simulaciones se utilizó una matriz de 3 x 3, considerando 3 fechas críticas (21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre) y 3 horas (9.00, 13.00 y 17.00 hrs.). La matriz 3 x 3 es una metodología que permite realizar estudios lumínicos y de asoleamiento en fechas claves dentro de un año calendario como son el solsticio de invierno, equinoccio y solsticio de verano, junto a tres unidades de tiempo representativas (mañana, medio día, y tarde), que definen un intervalo de tiempo perteneciente a un período normal de uso. Los resultados se promedian para obtener un valor único de iluminancia por cada uno de los niveles de piso y fachadas de cada caso con el fin de simplificar la investigación.

Los materiales simulados son el mortero proyectado azul ( $\rho$  9 %), el hormigón color beige ( $\rho$  43 %) y el hormigón color blanco ( $\rho$  84 %), los que dan cuenta de un coeficiente de reflectancia bajo, medio y uno alto, que permitirá conocer la influencia sobre la disponibilidad de luz natural que significa el uso de cada uno de ellos. Se realiza también un análisis comparativo porcentual de los materiales de acuerdo a la relación de sus reflectancias; para tal efecto, se seleccionó la relación  $\rho$  84 % /  $\rho$  9 % y  $\rho$  84 % /  $\rho$  43 % con el propósito de conocer el aporte de luz natural que se logra al aumentar el valor de la reflectancia de los materiales en fachadas, en los distintos contextos de cañones urbanos.

## RESULTADOS DEL APORTE DE LUZ NATURAL

Los casos se agrupan en las dos orientaciones predominantes de la trama urbana de la ciudad (noroeste/sureste y noreste/suroeste). Los resultados analizados corresponden al promedio de los valores de iluminancia obtenidos en las simulaciones (según la matriz de 3 x 3), pertenecientes a ambas fachadas y los niveles de piso de cada cañón urbano, a partir de los cual es posible realizar un análisis comparativo entre los casos estudiados, de modo de conocer el aporte de luz natural de los materiales de fachadas en distintos contextos urbanos de manera simplificada.

### Orientación 1: fachadas noroeste/sureste

La orientación 1 comprende los casos 1, 2 y 3 con relaciones H/W de 0,38, 0,66 y 0,94 respectivamente (Figura 4). Los resultados revelan diferencias de iluminancia entre las fachadas noroeste y sureste de entre 40 % y 50 % (Figura 7), siendo en el caso 1 donde esta diferencia es mayor, la cual es de valores cercanos a 6000 lux. Los mayores valores de iluminancia se obtienen en la fachada noroeste donde se alcanzan valores superiores a los 10000 lux mientras que los menores valores son cercanos a los 6000 lux, obtenidos en la fachada sureste. El caso 1, por su baja relación H/W, es el caso con los mayores valores de iluminancia, alcanzando valores cercanos a los 12000 lux en la fachada noroeste y sobre los 6000 lux en la fachada sureste, mientras que el caso 3, al poseer una mayor relación H/W, alcanza los menores valores de iluminancia, los que son de entre 8000 y 10000 lux en la fachada noroeste y de valores cercanos a 6000 lux en la fachada suroeste. En la Figura 7 se observa que las diferencias de iluminancia alcanzadas entre los distintos coeficientes de reflectancia son similares y regulares para todos los casos, las cuales son de valores de entre 1500 y 2000 lux, comparando las reflectancias de 9% y 84%. Se observan también diferencias de iluminancia entre los distintos niveles de piso en los casos conforme la relación H/W del cañón urbano, donde los primeros niveles alcanzaron los menores valores de iluminancia y los últimos niveles alcanzan los mayores valores para todos los casos. Los casos 1 y 2 exhiben valores de iluminancia relativamente semejantes entre

los niveles de piso de los cañones urbanos, pero en el caso 3, por su mayor relación H/W, se advierte una gran diferencia entre los niveles de la fachada noroeste, la cual es de 2000 lux comparando los niveles 1 y 4, mientras que en la fachada sureste los valores de iluminancia se mantienen más regulares.

En relación al porcentaje de aporte lumínico por reflectancia del material en fachadas, se muestra, en la Figura 7, que el aporte de luz natural por reflectancia del material es mayor conforme aumenta la diferencia de reflectancias comparadas. Se aprecia también que el aporte será mayor conforme aumenta la relación H/W, principalmente en la fachada sureste, donde se alcanzan aportes del 12% y 25% en el caso 1 (mientras que el caso 3 los aportes alcanzan los 20% y 40%), comparando los coeficientes de reflectancia 84% / 43% y 84% / 9%, respectivamente.

Según los niveles de piso de los cañones urbanos, se observa que los casos 1 y 2 no evidencian grandes diferencias de iluminancia entre sus niveles de piso por su baja relación H/W, pero en el caso 3, esta diferencia de iluminancia es más evidente debido a su mayor relación H/W. En la fachada noroeste, el porcentaje de aporte lumínico se mantiene relativamente constante entre los distintos niveles de piso, y en la fachada sureste se visualiza que en los primeros niveles el aporte de luz natural es mayor para todos los casos, principalmente en el caso 3 donde los aportes en el primer nivel alcanzan los 20% y 40%, mientras que en el cuarto nivel son de 15% y 30%, comparando los valores de reflectancia 84% / 43% y 84% / 9%, respectivamente.

Las diferencias de iluminancia entre niveles de piso y fachadas ocurren debido a que, en los casos de mayor relación H/W, los primeros niveles de piso reciben una mínima cantidad de luz solar directa; lo mismo sucede con la fachada sureste, por lo que la contribución de luz solar indirecta, a través de la reflectancia de los materiales, es mayor. Respecto a las fachadas, la sureste es la más favorecida, ya que las fachadas no se benefician de su propia luz reflejada, sino de la reflejada por las fachadas que se les enfrentan, es decir, la noroeste (válido para la orientación 2).

**Orientación 2: fachadas noreste/suroeste.**

La orientación 2 comprende los casos 4, 5 y 6, con relaciones H/W de 0,56, 1,25 y 1,96 respectivamente (Figura 4). Los resultados revelan diferencias de iluminancia entre las fachadas noroeste y sureste de entre 30% y 40% (Figura 8), lo que se traduce en una diferencia aproximada de 4000 lux en los tres casos. Los mayores valores de iluminancia se obtienen en la fachada noreste donde se alcanzan valores superiores a los 10000 lux, mientras que los menores valores son cercanos a los 3000 lux, obtenidos en la fachada suroeste del caso 6. El caso 4, por su baja relación H/W, presenta valores de iluminancia regulares entre sus niveles de piso. El caso 5 es el que muestra los mayores valores de iluminancia, aunque solamente en su último nivel, alcanzando valores cercanos a los 12000 lux en la fachada noreste y sobre los 8000 lux en la fachada suroeste. El caso 6, al poseer la mayor relación H/W, alcanza los menores valores de iluminancia, los que son de entre 5000 y 10000 lux en la fachada noreste y de valores entre 3000 y 7000 lux en la

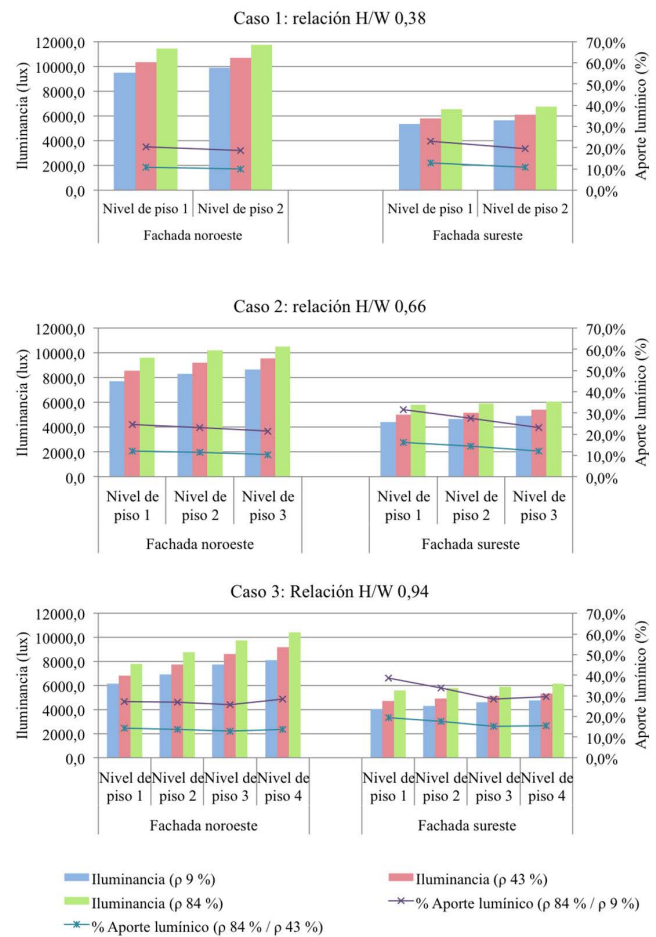


Figura7: Gráficos de iluminancia promedio y aporte lumínico por reflectancia del material de fachada para la orientación 1. Fuente: Elaboración del autor.

fachada suroeste. En la Figura 8, se advierte que las diferencias de iluminancia alcanzadas entre los distintos coeficientes de reflectancia son similares y regulares para todos los casos: de valores entre los 1500 y 2000 lux, comparando las reflectancias de 9% y 84%. Se dan también diferencias de iluminancia entre los distintos niveles de piso de los casos: los primeros niveles alcanzan los menores valores de iluminancia y los últimos niveles alcanzan los mayores para todos los casos. El caso 4 muestra valores de iluminancia relativamente semejantes entre los niveles de piso de los cañones urbanos, pero en los casos 5 y 6, por sus mayores relaciones H/W, se observa una gran diferencia entre los niveles de ambas fachadas, la cual es de valores cercanos a los 4000 lux, al comparar los primeros y últimos niveles de ambas fachadas.

En cuanto al porcentaje de aporte lumínico por reflectancia del material de fachada, la Figura 8 deja ver que el aporte de luz natural por reflectancia del material es mayor conforme aumenta la diferencia de reflectancias comparadas. Asimismo, puede notarse que el aporte será mayor conforme aumenta la relación H/W, principalmente en la fachada suroeste, donde se alcanzan aportes de 20% y 35% en el caso 4, de 30% y



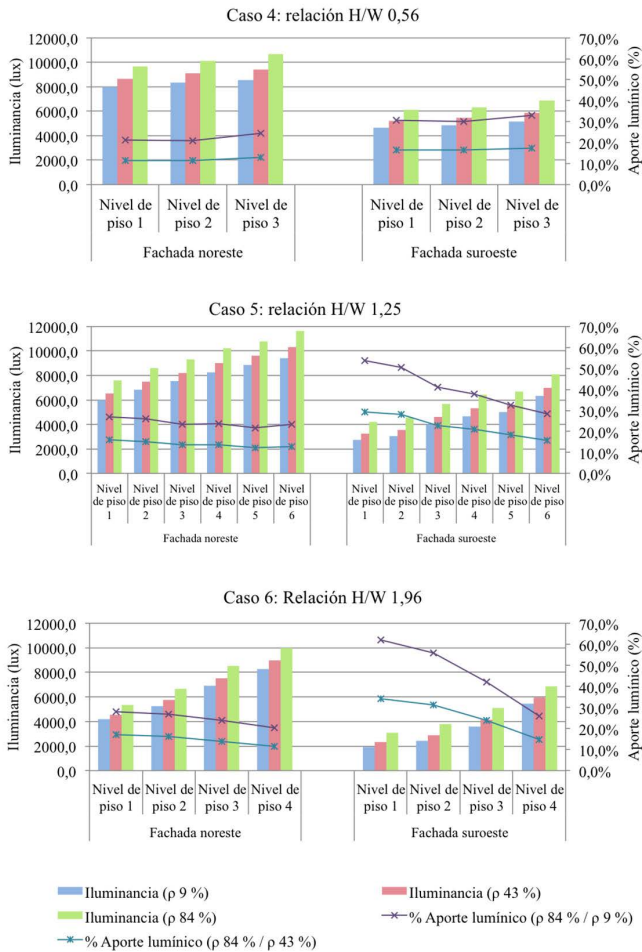


Figura 9: Gráfico de iluminancia y aporte lumínico por reflectancia del material de fachada promedio comparativo. Fuente: Elaboración del autor.

55% en el caso 5, y de 35% y 60% en el caso 6; al comparar los coeficientes de reflectancia 84% / 43% y 84% / 9%, respectivamente.

Según los niveles de piso de los cañones urbanos, se observa que el caso 4 no exhibe grandes diferencias entre sus niveles por su baja relación H/W, pero en los casos 5 y 6 esta diferencia es muy significativa. En la fachada noreste el porcentaje de aporte se mantiene relativamente constante, mientras que en la fachada suroeste, en los primeros niveles, el aporte de luz natural es mayor para todos los casos, principalmente en los casos 5 y 6. En el caso 5, los aportes en el primer nivel alcanzan los 35% y 60%, mientras que en el último nivel son de 15% y 30%. En el caso 6, los aportes en el primer nivel son de 30% y 55%, mientras que en el último son de 15% y 25%, al comparar los valores de reflectancia 84% / 43% y 84% / 9%, respectivamente.

**Análisis comparativo cañones urbanos.**

La Figura 9 evidencia un vínculo entre la relación H/W de cada cañón y la disponibilidad de luz natural para cada uno de los casos y materiales estudiados, ya que el caso 1, con la

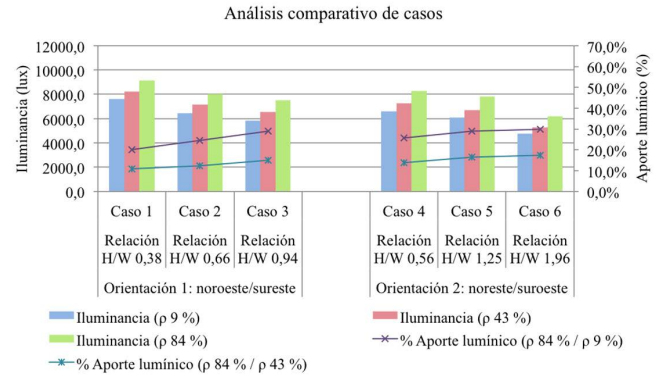


Figura 10: Gráfico de iluminancia y aporte lumínico por reflectancia del material de fachada promedio comparativo. Fuente: Elaboración del autor.

relación H/W más baja, posee los valores de iluminancia más altos entre los casos estudiados, mientras que el caso 6, con la relación H/W más alta, presenta los valores más bajos. A pesar de ello, se observa que el aumento de iluminancia debido a la reflectancia del material de fachada es relativamente similar en todos los casos, mostrando diferencias de entre 1500 y 2000 lux, al comparar los materiales de reflectancia 9% y 84%.

La misma Figura 9 expone un vínculo entre la relación H/W de cada cañón y el porcentaje de aporte lumínico por la reflectancia de los materiales de fachadas. El caso 1, con la relación H/W más baja, es el que en menor porcentaje se ve afectado por el aumento de la reflectancia del material de fachada (Figura 9), mostrando aportes de 10% y 20%, comparando las reflectancias 84% / 43% y 84% / 9%, respectivamente. Mientras que el caso 6, con la mayor relación H/W, presenta el mayor aporte porcentual debido a la reflectancia del material en fachadas entre los casos estudiados, con aportes de 15% y 30% en promedio, según las mismas comparaciones. Esto significa que la luz reflejada por la envolvente urbana es la principal fuente de luz diurna aprovechable por los edificios cuando las condiciones geométricas del cañón urbano no permiten obtenerla de forma directa, como en los caso 5 y 6, de modo que puede representar un gran aporte a la disponibilidad de luz natural cuando la reflectancia de los materiales es mayor.

**CONCLUSIONES**

Según la relación H/W, se concluye que la disponibilidad de luz natural exterior se ve directamente condicionada por la relación geométrica del cañón urbano, la cual disminuye conforme aumenta la relación H/W. El caso 1, que constituye el cañón urbano de menor relación H/W (0,38), presenta los mayores valores de iluminancia dentro de los casos estudiados, mientras que el caso 6, con la relación H/W más alta entre los casos estudiados (1,96), presenta los menores valores de iluminancia. Esto ocurre debido a que el cono de sombra generado por la altura de los edificios y el distanciamiento entre sus fachadas limita la ganancia de luz solar directa, disminuyendo la disponibilidad de luz natural aprovechable por los edificios cuando la relación H/W es mayor.

En el análisis del porcentaje de aporte lumínico, debido a la reflectancia del material de fachada, se demuestra que el aporte será mayor conforme aumenta la relación H/W, es decir, que en este tipo de cañones urbanos los materiales presentes en las fachadas deberían ser de alta reflectancia para que aporten la mayor cantidad de luz recibida por el sol y traducida en la iluminancia natural exterior. También se comprueba que el aporte de iluminancia será mayor conforme aumenta la diferencia de reflectancia entre los materiales comparados ya que el aporte lumínico entre las reflectancias 84 % / 9 % alcanzan los mayores valores de aportes porcentuales conforme aumenta la relación H/W del cañón urbano.

El análisis revela, asimismo, que las fachadas sureste (orientación 1) y suroeste (orientación 2) son las más favorecidas en cuanto al porcentaje de iluminancia aportados por los materiales de fachada. Esto se debe a que las fachadas no se benefician directamente del coeficiente de reflectancia de su propia materialidad, sino que de los materiales de las fachadas y elementos a los cuales se ven enfrentadas, en este caso, las fachadas noroeste (orientación 1) y noreste (orientación 2), que obtuvieron mayores valores de iluminancia en el análisis.

Respecto a los niveles de piso de los edificios, porcentualmente los primeros fueron más beneficiados por el aporte de luz natural debido a la reflectancia de los materiales. Esto se produce ya que los primeros niveles de piso son los que reciben menor luz natural directa, sobre todo en relaciones H/W mayores; razón por la cual la luz natural indirecta obtenida, producto de la reflectancia de los materiales, es la principal fuente de luz diurna en estos niveles. Ahora bien, lo señalado no significa que los primeros niveles sean los únicos a considerar en la selección de los materiales de las fachadas, ya que la luz solar viaja a lo largo de todo el perfil de ésta antes de ser aprovechada por los primeros niveles del cañón urbano.

Se comprueba, además, que la luz reflejada contribuye de manera importante a la disponibilidad de luz natural de los edificios y, de hecho, es la mayor parte de la luz diurna disponible para las fachadas menos favorables y pisos más bajos en densidades urbanas altas, cuando la luz natural no puede obtenerse en forma directa; la que, de esta manera, aporta a una distribución más equitativa y homogénea. Es importante considerar que los edificios no son solo estructuras que deben ser valoradas de forma aislada para crear condiciones interiores y exteriores adecuadas, sino que también se debe analizar la influencia de estos sobre el contexto urbano en el que se encuentran inmersos, en aras de asegurar que su desarrollo contribuya a la creación de buenas condiciones de luz diurna para el propio edificio y los edificios vecinos.

Se concluye, en definitiva, que el estudio del cañón urbano, mediante el uso de la relación geométrica H/W, es un procedimiento de análisis capaz de reconocer de manera simplificada características esenciales utilizadas en estudios sobre las propiedades de la envolvente y morfología urbana -como densidad, propiedades de los materiales de la envolvente, porcentaje de ventanas, entre otras-, que permite realizar investigaciones de sustentabilidad en cuanto a temperaturas urbanas, vientos, disponibilidad de luz natural y al efecto de las variables del cañón urbano sobre tales factores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCHAPAR, Noelia y CORREA, Érica. Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de la Construcción*, 2015, vol. 67, n° 540, p. 112.

ALCHAPAR, Noelia; CORREA, Érica y CANTÓN, María Alicia. Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construido*, 2012, vol. 12, n° 3, pp. 107-123.

ARIAS, Silvia y ÁVILA, David. *La iluminación natural en la arquitectura*. México: Editorial Universidad de Guadalajara, 2007.

CÓRICA, Lorena y PATTINI, Andrea. Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos. *Revista Averma*, 2005, vol. 9, pp. 05.85-05.90.

FREEWAN, Ahmed AY; GHARAIBEH, Anne A. y JAMHAWI, Monther M. Improving daylight performance of light wells in residential buildings: Nourishing compact sustainable urban form. *Sustainable Cities and Society*, 2014, vol. 13, pp. 32-40.

GAFFIN, S. R., IMHOFF, M., ROSENZWEIG, C., KHANBILVARDI, R., PASQUALINI, A., KONG, A. Y. Y., GRILLO, D., FREED, A., HILLEL, D. y HARTUNG, E. Bright is the new black—multi-year performance of high-albedo roofs in an urban climate. *Environmental Research Letters*, 2012, vol. 7, n° 1, pp. 014029.

GREENUP, Phillip y EDMONDS, I. R. Test room measurements and computer simulations of the micro-light guiding shade daylight redirecting device. *Solar Energy*, 2004, vol. 76, n° 1-3, pp. 99-109.

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE CONCEPCIÓN. *Ordenanza local del plan regulador comunal de Concepción* [en línea]. [Consultado 20 octubre 2017]. Disponible en: <https://www.concepcion.cl/wp-content/uploads/2013/11/Ordenanza-PRCC-Incluye-modif-Ley-20.791-y-decreto-154-de-2015.pdf>

MESA, Néstor Alejandro; CORICA, Lorena y PATTINI, Andrea. Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment. A study in Mendoza, Argentina. *Renewable energy*, 2011, vol. 36, n° 9, pp. 2414-2423.

MONTEOLIVA, Juan Manuel y PATTINI, Andrea Elvira. Iluminación natural en aulas: Análisis productivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleado. *Ambiente Construido*, 2013, vol. 13, n° 4, pp. 235-248.

NASROLLAHI, Nazanin y SHOKRI, Elham. Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 66, pp. 861-874.

PIDERIT, María Beatriz. *Ilumina Chile* [en línea]. [Consultado 11 septiembre 2017]. Disponible en: <http://iluminachile.ubiobio.cl/>

RAMÍREZ, David Carlos y OROZCO, Silvia. La envolvente arquitectónica y su influencia en la iluminación natural. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5, n° 1, pp. 44-53.

STRØMANN-ANDERSEN, Jakob y SATTRUP, Peter Andreas. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43, n° 8, pp. 2011-2020.

YUAN, Jihui; FARNHAM, Craig y EMURA, Kazuo. Development of a retro-reflective material as building coating and evaluation on albedo of urban canyons and building heat loads. *Energy and Buildings*, 2015, vol. 103, pp. 107-117.





# ASPECTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE LA LUZ SOLAR EN RECINTOS URBANOS DE ALTA DENSIDAD EDILICIA EN CLIMAS SOLEADOS (PERÍODO INVERNAL)

## QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ASPECTS OF SOLAR LIGHT IN HIGH-DENSITY URBAN SPACES FOR SUNNY CLIMATES. WINTER PERIOD

Lorena Córca  
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)  
Centro Científico Tecnológico (CCT)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
(CONICET) Mendoza, Argentina  
lcorica@mendoza-conicet.gob.ar

María Angélica Ruiz  
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)  
Centro Científico Tecnológico (CCT)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
(CONICET) Mendoza, Argentina  
aruiz@mendoza-conicet.gob.ar

### RESUMEN

La ciudad de Mendoza, situada en la región centro-oeste de la República Argentina, corresponde a un clima semiárido por lo que presenta elevados niveles de radiación solar a lo largo del año. Sin embargo, estos efectos se ven mitigados por la densidad edilicia y por los períodos de foliación del arbolado urbano. Por esto, el objetivo del presente trabajo es realizar el estudio cuantitativo y cualitativo de las condiciones lumínicas durante el invierno. Se propone el abordaje de luz natural en dos casos de estudio característicos de la ciudad, mediante técnicas combinadas de mediciones *in situ* y valoraciones subjetivas de los usuarios de los espacios. Los resultados obtenidos de confort visual en espacios exteriores han determinado que más allá de las diferencias lumínicas de los espacios, los sujetos se encuentran adaptados al clima luminoso de la región, a las diferentes condicionantes que genera la morfología urbana y, consecuentemente, a la diversidad de contrastes que esta puede arrojar en el espacio urbano.

### Palabras clave

comportamiento de la luz solar, espacios abiertos, morfología urbana, confort visual.

### ABSTRACT

The city of Mendoza, located in the central-western region of the Argentine Republic, has a semi-arid climate and therefore high levels of solar radiation throughout the year. However, these effects are mitigated by the building density and foliage periods of urban trees. Hence, the objective of this research was to carry out a qualitative and quantitative study of daylight conditions during winter. Natural light was examined through two cases that are characteristic of the city, using a combination of *in situ* measurement techniques and subjective assessments of the spaces by users. The results on visual comfort in outdoor spaces show that beyond differences in light, the subjects are adapted to the light environment of the region, to the different conditions generated by the urban morphology, and consequently to the diversity of contrasts that this can cause in the urban space.

### Keywords

behavior of sunlight, outdoor spaces, urban morphology, visual comfort.



Figura 1: Vista de la ciudad Oasis de Mendoza. Fuente: Elaboración de las autoras.

## INTRODUCCIÓN

La construcción del paisaje urbano constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural dado que su impacto no sólo se limita a cambiar la morfología del terreno, su rugosidad, la biodiversidad, sino que transforma fundamentalmente las condiciones climáticas y ambientales del paraje natural. La ciudad actúa como un modificador del clima local generando microclimas urbanos particulares que pueden favorecer o no a la eficiencia energética de la edilicia y al confort de las personas que lo habitan (Tumini, 2012; Gaitani, Mihalakakou y Santamouris, 2007).

El ambiente natural y el construido constituyen fuerzas bioregionales que influyen en el potencial de iluminación natural en los espacios (Guzowski, 2001). Un abordaje del estudio de la luz solar involucra los modos en que el espacio urbano puede tomar forma, responder, aprovechar y beneficiarse de los recursos de una región específica. La magnitud relativa de las componentes difusa (visión de cielo) y reflejada (edificación circundante) de la radiación está fuertemente condicionada por las características de los recintos urbanos conexos, en aspectos de densidad, altura de las edificaciones, dimensiones, arbolado y reflectividad de las superficies, entre otros (Tregenza, 1995; Tsangrassoulis et al., 1995; Fontoynt, Tsangrassoulis y Synnefa, 2004).

Las regiones áridas determinan condicionantes ambientales hostiles, dados los altos niveles de radiación solar. Sin embargo y precisamente por esta característica, la respuesta de acondicionamiento del hábitat se ha centrado en la búsqueda de las sombras como elemento de control ambiental, para evitar los deslumbramientos desde la perspectiva del confort visual, y la mitigación del calor estival, desde la perspectiva del confort térmico. Sin una mediación morfológica, estos ambientes serían inhabitables.

La ciudad de Mendoza, situada en la región centro-oeste de la República Argentina, presenta un clima semiárido. El 83% del año corresponde a cielo despejado o parcialmente despejado y el promedio anual de duración de sol es de 2850 horas. El Área Metropolitana de Mendoza, se caracteriza por presentar un modelo de "ciudad oasis", en una trama en damero, de calles anchas, flanqueadas por líneas de árboles que conforman túneles verdes. Esta impronta urbana ha dado una respuesta particular a las formas de ocupación del territorio, modificando el paisaje natural con la disposición de un verdadero bosque urbano como estrategia de confort bioclimático donde el árbol es el elemento de mitigación y de control ambiental estacional (Figura 1). De esta manera, la ciudad ofrece una gran variedad de configuraciones espaciales con distintas exposiciones a la luz solar.

Por otro lado, generalmente la idea de un espacio exterior agradable está asociada a una experiencia visual positiva de los usuarios. Dentro del espacio urbano, existen diferentes aspectos que pueden contribuir a que las experiencias visuales sean satisfactorias: las vistas y visuales de los escenarios donde se transita, la arquitectura y las condiciones lumínicas del entorno construido. Sin embargo, hay otros factores que se relacionan con fenómenos físicos, como es el caso del confort visual, y que pueden ser tanto de orden cualitativo como cuantitativo (Compagnon, 2004). Cuando un sujeto se enfrenta al hecho de desplazarse, se ve afectado por diferentes variables de tipo medioambiental (condiciones de contraste, tamaño de los objetos, "desorden visual" del entorno, superficies deslumbrantes, brillos, reflejos, etc.). Quizás una de las variables más críticas a la hora de pronosticar su rendimiento y seguridad durante el período diario y en el espacio exterior, sea la derivada de los efectos de las condiciones de iluminación presentes en cada momento y para cada región, según la capacidad de adaptación al clima luminoso (Goyette y Compagnon, 2004).

Ante lo expuesto y frente a esta temática de gran complejidad, el objetivo del presente trabajo es realizar un estudio integral de la luz solar incidente en espacios públicos de la ciudad, comparando escenarios urbanos expuestos a condiciones lumínicas diferentes y la percepción visual que experimentan sus usuarios. Así, se pretende, por una parte, analizar el comportamiento de luz diurna (aspectos cuantitativos) de recintos urbanos en la alta densidad edilicia, según distintas configuraciones morfológicas y su vinculación con el clima local. Y, por otra, cotejar mediciones con las respuestas subjetivas de los usuarios (aspectos cualitativos). De esta forma, se presentan avances observacionales en términos de confort visual en recintos urbanos de climas soleados, teniendo en cuenta la influencia de las componentes de la iluminación natural (directa, difusa y reflejada). En este caso, los resultados corresponden a la condición de invierno, como primera etapa de un estudio anual que contempla las estaciones críticas del año.

## METODOLOGÍA

### SELECCIÓN DE CASOS DE ANÁLISIS

Dentro de la trama de la ciudad, se identificaron dos recintos urbanos que presentan distintas permeabilidades a la luz solar. Los mismos se ubican en un canal vial urbano (CVU) de alta densidad edilicia. Se trata de la Peatonal Sarmiento, ubicada en el microcentro de la ciudad de Mendoza, y se define en un eje de orientación Este-Oeste, de 30 m de ancho. Su configuración espacial de fachadas está constituida por edificios de entre 3 a 9 niveles, con perfiles heterogéneos en alturas (Figura 2). La especie forestal existente es *Morus alba* "morera", del tipo caducifolia, cuyos índices de transmisividad corresponden a 31,4% para el verano y 66,4% para el invierno (Cantón, Cortegoso y De Rosa, 1994). Resultan ejemplares adultos de segunda magnitud que alcanzan alturas de 12 metros. La distancia de plantación varía entre 5,50 y 6,30 m. El estado vegetativo es de bueno a regular y los forestales no alcanzan a consolidar túnel arbóreo.

El primer caso, denominado **caso de estudio CV**, corresponde al sector circunscripto en el centro de la calle, que presenta un perfil urbano más cerrado, conformado por el sistema de fachadas, calzada y arboleda, además del mobiliario urbano.

El segundo sector, **caso de estudio CC**, se localiza en el cruce de calles, y posee una configuración espacial mucho más abierta, ya que se sitúa en la intersección de calles de las manzanas, donde disminuye el grado de enmascaramiento de la edilicia y la arboleda.

### ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LUZ DIURNA: ASPECTOS CUANTITATIVOS

Para iniciar el estudio del comportamiento de luz diurna, se realizaron mediciones de parámetros climáticos de radiación

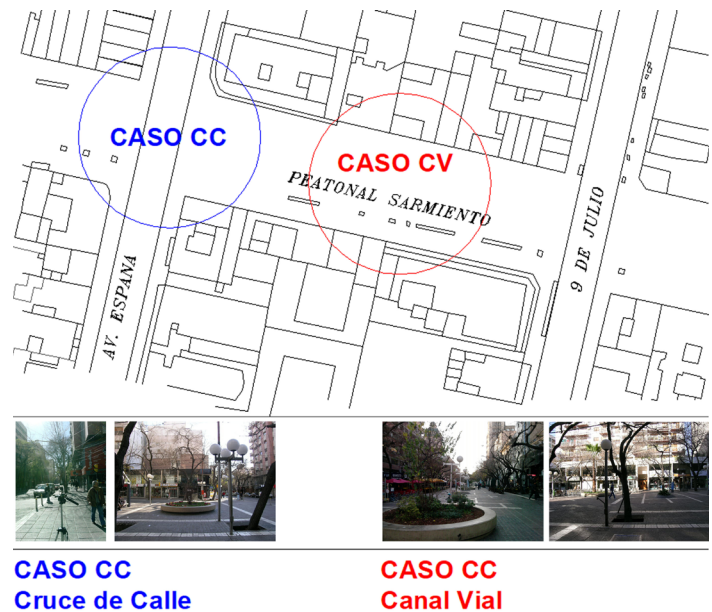


Figura 2: Planimetría del CVU Peatonal Sarmiento.  
Fuente: Elaboración de las autoras.

solar y luz natural, durante una jornada completa (de 9 a 18 h), correspondiente al día 22 de julio, con cielo despejado en condición invernal. Los datos climatológicos fueron monitoreados con registros cada 5 minutos, lo que permitió conformar una base de información muy significativa. En este análisis, se obtienen datos del clima local (datos globales de la región), para ser cotejados con los monitoreados en cada caso de estudio (*in situ*) de manera simultánea.

### Mediciones de parámetros lumínicos globales, sobre punto base exterior.

Se obtuvieron datos de Radiación Horizontal Global (IR-glo) y Radiación Horizontal Difusa (IR-dif). Como parámetros representativos de las condiciones de luz natural, se consideraron la Iluminancia Horizontal Global (EH-glo) y la Iluminancia Horizontal Difusa (EH-dif). Los mismos fueron obtenidos de la Estación de Mediciones de Iluminación Natural CCT Mendoza, incorporada a la red mundial de la CIE (Comisión Internacional d' Eclairage). Se trata de datos recolectados de manera continua en un punto base sin obstrucción (Figura 3a).

### Medición de parámetros lumínicos *in situ* para los casos de estudio.

Las mediciones *in situ* se establecieron según protocolo de mediciones (Córca y Pattini, 2005). Para la toma de datos de radiación solar, se utilizaron dos estaciones meteorológicas móviles marca HOB0®, modelo H21-001, equipadas cada una con un piranómetro de silicona S-LIB-M003, localizados a 1,50 m de altura (Figura 3b). El rango operativo se encuentra entre -20 y +50°C. Las iluminancias fueron relevadas con fotómetros LI-210SA Licor 21, sistema combinado UTA / HOB0 U12-013 como data-logger.



## RESPUESTAS DE LOS USUARIOS A LAS CONDICIONANTES LUMÍNICAS DE LOS ESPACIOS: ASPECTOS CUALITATIVOS.

Con el fin de relacionar las sensaciones de los usuarios con las características físicas del campo luminoso, se hicieron preguntas específicas a las personas en los espacios abiertos. Como parámetros representativos para su evaluación lumínica, se registraron mapeos de luminancias que contienen información de los ambientes visuales en términos de reflectividad incidente en el campo visual, además del registro de luz proveniente del entorno construido, en este caso la iluminancia cilíndrica.

Las evaluaciones subjetivas se procesaron estadísticamente mediante la técnica de Diferencial Semántico. El método constituye una escala de clasificación que mide el significado subjetivo que los estímulos provocan en los sujetos. Contiene dos elementos fundamentales: conceptos y escalas bipolares.

Las preguntas fueron incluidas en un cuestionario donde se consultaron aspectos relacionados al confort visual tales como *preferencia de cantidad de sol*; *nivel de luz en el espacio*; *sensibilidad al deslumbramiento: nivel de tolerancia* y *superficie de procedencia de los brillos o reflejos molestos*, entre otros.

Las encuestas se efectuaron de manera personalizada a lo largo de la jornada y se tuvo en cuenta el horario de las entrevistas para el entrecruzamiento de las variables y la correlación con las mediciones objetivas. En el caso de estudio CC se obtuvo un total de 195 N, mientras que en CV, 198 N.

Los mapeos de luminancias se confeccionaron a partir de fotografías de Amplio Rango Dinámico (HDRI) (Inanici y Galvin, 2004). Las imágenes se tomaron cada 1 hora con cámara Nikon Coolpix 5400 y lente Nikon FC-E9 y fueron procesadas por medio del software Photosphere-MAC OS. Este software combina todas las imágenes de bajo rango dinámico (LDR) en una de alto rango, correspondiendo cada pixel a un valor fotométrico de luminancia. La calibración de las imágenes se obtiene con luminancias de control a través de Luminancímetro Minolta LS 110.

La iluminancia horizontal no considera la luz reflejada del entorno construido, en especial las provenientes de las fachadas que afectan una gran parte del campo visual de los usuarios (Compagnon, 2000). La magnitud que incide en los ojos de las personas como principales receptores verticales está dada por la iluminancia cilíndrica (E<sub>cyl</sub>), que incluye la cantidad de luz vertical proveniente de todas las direcciones. Por lo tanto, está relacionada a las sensaciones de los usuarios con respecto a las características del entorno lumínico (Compagnon y Goyette-Pernot, 2003; Rombauts, Vandewyngaerde y Maggetto 1989; Gutorov, 1963). De ese modo, se utilizó un Luxímetro marca LMT con cabezal para la medición de iluminancia cilíndrica, el cual fue ubicado a la altura del observador, de 1,50 m (Figura 3c).



(a)



(b)



(c)

Tabla 3: (a) Estación de mediciones CCT- Mendoza. (b) Disposición de equipamiento in situ. (c) Cabezal y sensor de iluminancia cilíndrica. Fuente: Elaboración de las autoras.

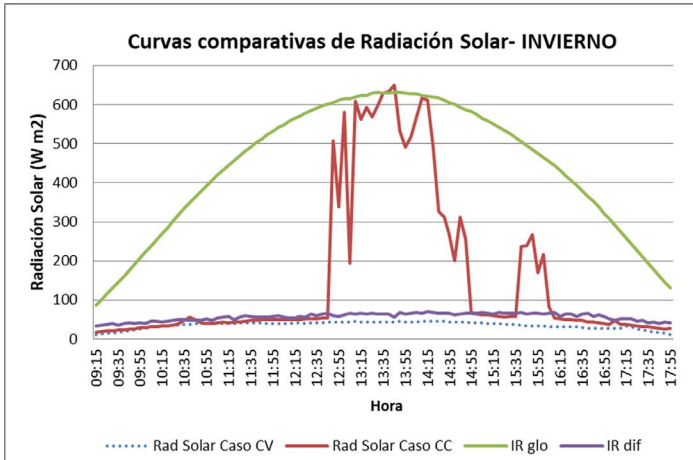


Figura 4: Valores de radiación solar para la jornada de medición. Fuente: Elaboración de las autoras.

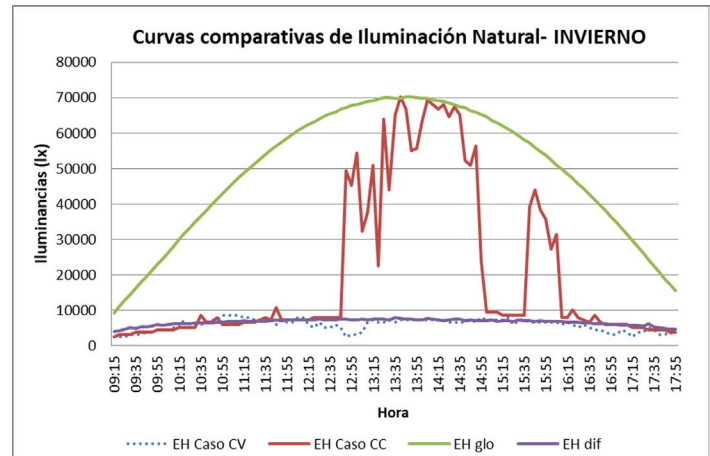


Figura 6: Valores de iluminancias para la jornada de medición. Fuente: Elaboración de las autoras.

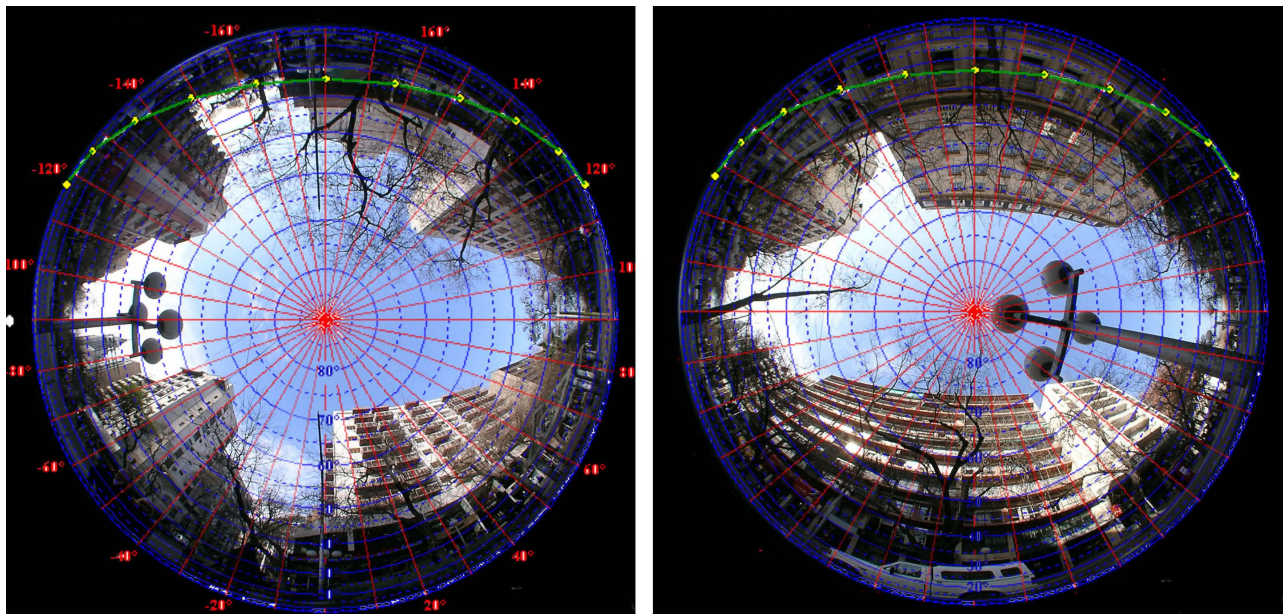


Figura 5: Trayectorias solares de invierno. Caso CV (derecha) y CC (izquierda). Fuente: Elaboración de las autoras.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### ASPECTOS CUANTITATIVOS

El gráfico de la Figura 4 expone de manera comparativa la radiación global recibida (directa y difusa) en la Estación de Mediciones, así como también la correspondiente a los escenarios monitoreados. Las particularidades arquitectónicas del centro del cañón (CV), de un perfil urbano cerrado (fachadas-calle), determinan que la radiación solar se mantenga estable y con niveles muy bajos durante toda la jornada. Mientras que CC registra comportamientos similares al anterior, hasta las 13h donde se da un incremento con picos que incluso superan levemente la radiación global.

Esto se explica por el efecto conjunto del mediodía solar, los vacíos edilicios y el aporte de radiación reflejada por las fachadas de los edificios. En las horas de la tarde (a partir de las 16h), la situación vuelve a presentar niveles mínimos.

Las curvas obtenidas demuestran que los ambientes urbanos presentan notables diferencias en relación al espacio no urbano. Esta situación evidencia que los comportamientos en el medio construido se ven condicionados por la relación volumétrica de la edificación-dinámica diaria de la rotación solar (Figura 5). Es fundamental aclarar que en esta estación del año la especie arbórea no se muestra como variable significativa en las distribuciones de radiación solar y, consecuentemente, tampoco en la iluminación natural de los espacios urbanos abiertos, por la pérdida de follaje.



En la Figura 6 se cotejan las curvas obtenidas para el análisis de iluminación natural. Las distribuciones lumínicas globales tomadas en el espacio exterior, exponen un comportamiento normal con rangos de iluminancias máximas alcanzadas al mediodía solar de 70240 lx de EH glo y 7900 lx EH dif.

Para CV, las iluminancias representan valores muy bajos y uniformes todo el día (EH media: 5800 lx; EH máx.: 8600 lx). El espacio recibe principalmente el aporte de luz difusa. Este efecto se define a partir de que los edificios de la fachada norte actúan como un bloque que obstruye la incidencia de luz solar ante los ángulos solares bajos característicos de esta época del año. La condición lumínica predominante para un día de invierno es de sombra, estableciendo un recinto oscuro y con rangos críticos en las distribuciones lumínicas que incluso afectan no sólo las condiciones visuales sino también térmicas del sector (Córca, 2010).

El Caso CC, ubicado en el cruce de calle, supone mayor amplitud edilicia, lo que mejora los niveles de iluminancias provenientes de todas las componentes, pero fundamentalmente de luz directa, en varias horas del día. Las curvas muestran claramente escenarios de sombra en los períodos de mañana y tarde. Mientras que al mediodía se da una penetración de luz directa que alcanza valores de 70000 lx.

Puede detectarse que los rangos en los espacios urbanos muestran un progresivo incremento comparados con las disponibilidades de luz difusa global obtenida en la estación. Esto surge como resultado del aporte de luz reflejada proveniente de las superficies verticales orientadas al Norte, de forma tal que dichos rangos en algunas horas del día pueden superar 2000 lx. Los ángulos de incidencia de la componente directa de la radiación visible sobre las superficies captoras tienden a incrementar los niveles de iluminancias. Si bien el acceso al sol se encuentra restringido en el recinto, los aportes de luz reflejada por las fachadas constituyen una verdadera fuente complementaria de iluminación natural.

## ASPECTOS CUALITATIVOS: CONFORT VISUAL.

### Mapeos de luminancias

La variación de las reflectancias de los acabados es un factor importante que afecta no sólo la calidad lumínica de los espacios, sino también el confort visual de los usuarios. Las propiedades reflectivas de los materiales como vidrios, superficies metálicas o revestimientos claros, pueden causar efectos de deslumbramiento en las personas (Brotas y Wienold, 2014). La CIE define como deslumbramiento a la condición de la visión en la que hay incomodidad o una reducción en la capacidad de ver detalles u objetos, causados por una distribución inadecuada o por contrastes extremos. En tareas al aire libre, los brillos o reflejos que se registran en el sistema visual determinan deslumbramiento discapacitante o perturbador y, por consiguiente, el deterioro de la visión,

lo que puede causar accidentes (CIE, 2002). En muchas ocasiones, el deslumbramiento está dado por la luz solar reflejada o incluso proveniente desde la fuente directa del sol (Brotas y Wilson, 2002).

Generalmente, la distribución de luminancias espaciales de un ambiente visual no es uniforme. Por lo que los mapeos de luminancias arrojan información necesaria para evaluar contrastes, impactos y cambios temporales y espaciales, según las intensidades lumínicas.

Las imágenes de la Figura 7 muestran el escenario real y su correspondiente mapeo de luminancias para distintas horas del día, con escala de distribuciones mínimas y máximas representadas en  $\text{cd}/\text{m}^2$ . El escenario CV presenta un ambiente uniforme sin grandes variaciones, donde predomina la condición de sombra sobre la superficie horizontal, consecuencia de la obstrucción edilicia (promedio:  $30 \text{ cd}/\text{m}^2$ ), con mejoras en horas cercanas al mediodía solar.

Dadas las dimensiones del cañón, cuyas proporciones son similares en la relación ancho-alto, pueden observarse altas luminancias en los niveles superiores de las fachadas captoras. Los colores de los acabados y presencia de aventanamientos, generan situaciones de contrastes en algunos momentos del día.

En el caso del Cruce de calle (Figura 8), el escenario lumínico cambia drásticamente. En horas de la mañana, los edificios en altura se muestran como superficies reflectantes, en contraste con rangos muy bajos provenientes del piso. A partir del mediodía, las personas se ven expuestas a la fuente directa del sol durante muchas horas, efecto que supone deslumbramientos en el campo visual. Pero, a la vez, se suma la contribución de luminancias provenientes del suelo por efecto de luz reflejada, las cuales aparecen de gran importancia (valores cercanos a los  $9000 \text{ cd}/\text{m}^2$ ).

Los casos expuestos demuestran que, en el espacio urbano, las distribuciones superficiales no son homogéneas, debido a los cambios espaciales y temporales. Y arrojan una gran complejidad de ambientes de contrastes lumínicos a los que se exponen las personas a la hora de transitar o permanecer en el espacio público.

### Niveles de iluminancia cilíndrica.

Las curvas de E<sub>cyl</sub>, obtenidas en las Figura 9, confirman los escenarios visualizados en ambos casos. A mayor visión de cielo definida por el cruce de calles se da una variación de niveles, fundamentalmente en la franja horaria del mediodía y tarde. Esto se produce como efecto de la temporalidad de la luz solar y el ingreso de la componente directa de la iluminación natural y la proyección de sombras causada por los perfiles construidos.

La Tabla 1 expone datos estadísticos descriptivos de E<sub>cyl</sub> para cada uno de los casos. Los valores corroboran de manera clara que la condición del centro de CVU presenta

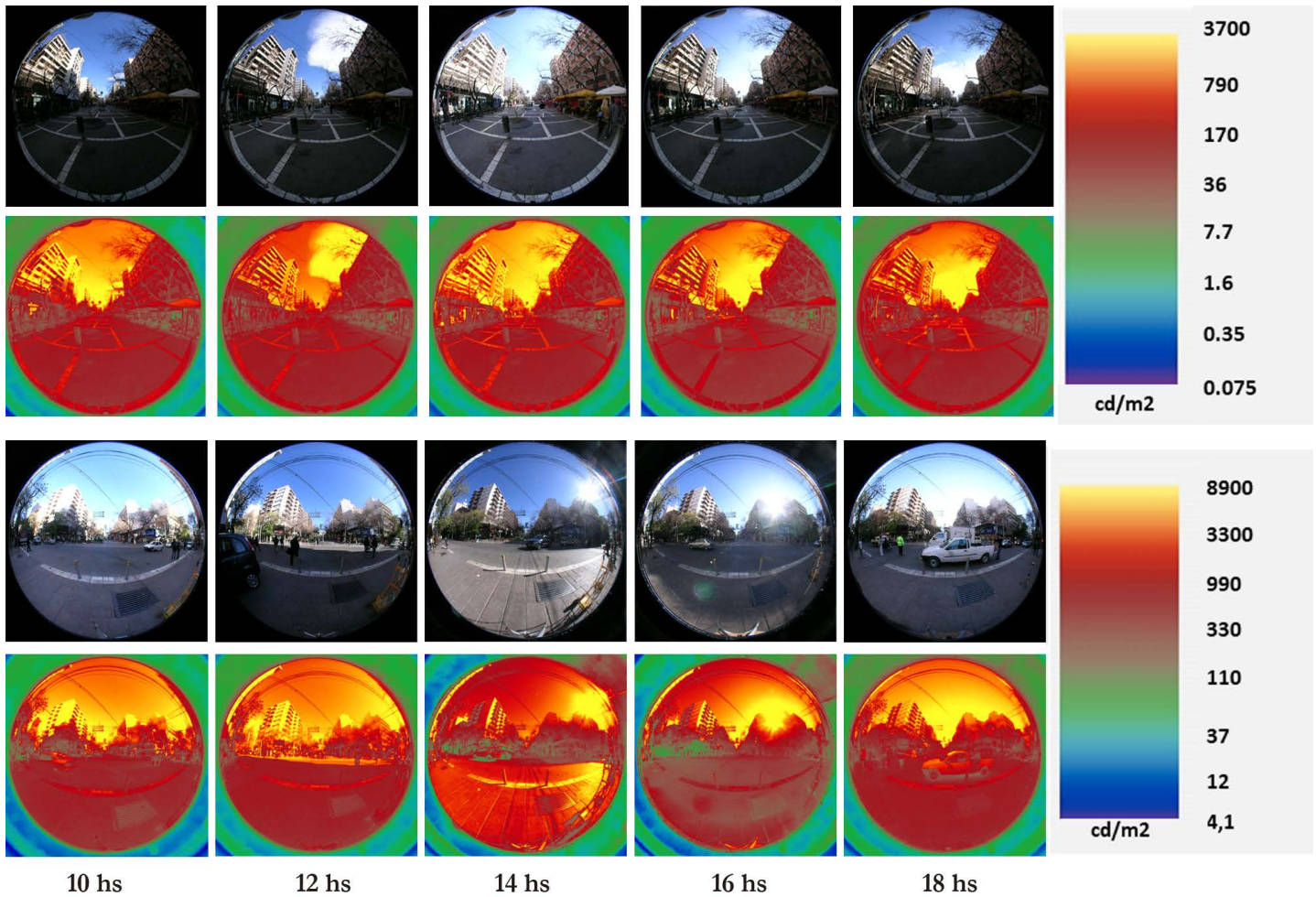


Figura 7. Imágenes HDR y mapeos de luminancias- Caso CV. Fuente: Elaboración de las autoras.  
 Figura 8. Imágenes HDR y mapeos de luminancias- Caso CV. Fuente: Elaboración de las autoras.

rangos muy bajos en cuanto a disponibilidad lumínica exterior. Mientras que, para el entorno de cruce de calle, la máxima registrada supera los 26000 lx, con una mayor variabilidad en los rangos de iluminancia.

Tanto los mapeos de luminancias como los valores de iluminancias logrados, fundamentan la diferencia de rangos propicios para cotejar los valores con la percepción de los usuarios en los mismos.

**Sensación de cantidad de sol.**

Como parte de la información básica a conocer dentro del estudio, se consultó a los usuarios su opinión sobre la cantidad de sol disponible en el espacio.

Para el centro del cañón (CV), el 52% de las personas consultadas, consideran que las cantidades de sol son adecuadas y “están bien”, el 48% restante preferiría mayor cantidad o presencia de sol.

De las personas testeadas en el cruce de calle (CC), el 64% determinaron que la cantidad de sol “está bien”, el 35%

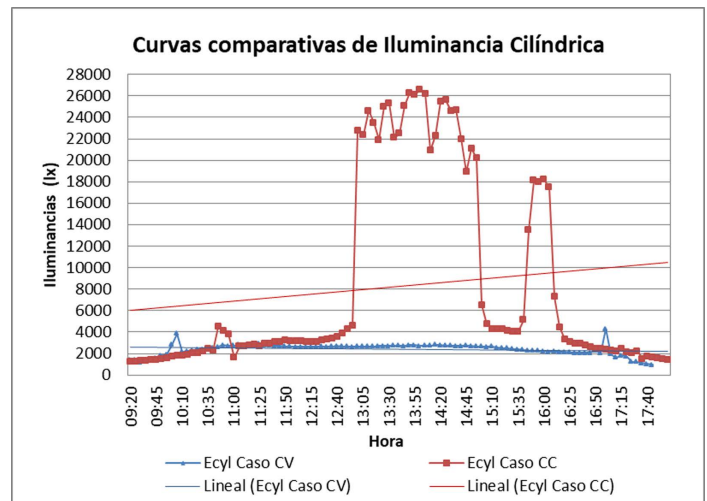


Figura 9. Registro comparativo de iluminancias. Fuente: Elaboración de las autoras.

|         | N   | Mínimo | Máximo | Media   | Desviación típica |
|---------|-----|--------|--------|---------|-------------------|
| Caso CC | 195 | 1261   | 26600  | 9254,01 | 9392,314          |
| Caso CV | 198 | 945    | 4283   | 2433,98 | 494,344           |

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de iluminancia cilíndrica para cada caso de estudio (lx).  
 Fuente: Elaboración de las autoras.

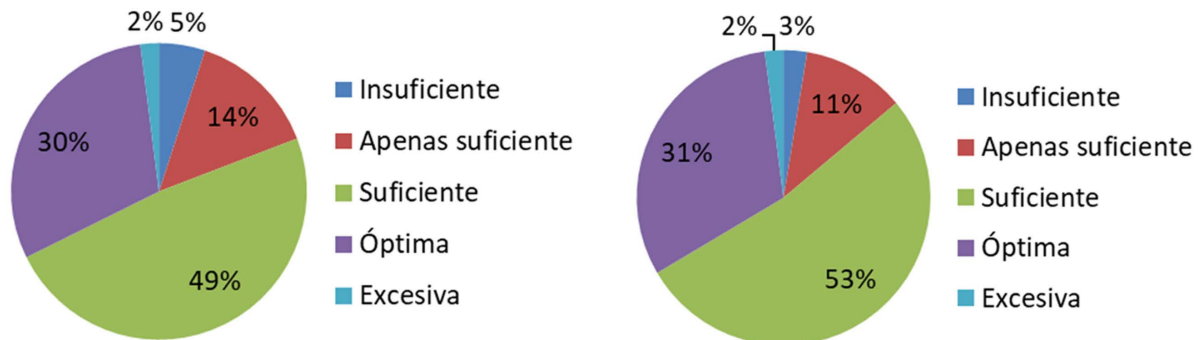


Figura 10. Voto de sensación de luz natural (a) en el caso CV y (b) en el caso CC. Fuente: Elaboración de las autoras.

preferiría más sol y sólo el 1% restante, preferiría menos sol, teniendo en cuenta que este caso representa horas de la componente directa incidente sobre el campo visual.

## PERCEPCIÓN DE LA LUZ NATURAL.

Los resultados preliminares obtenidos sobre la sensación luminosa de los espacios exteriores bajo la incidencia de diferentes condiciones de la luz natural, han determinado que las opiniones de los encuestados son similares, a pesar del hecho de que los contextos lumínicos sean adversos.

En líneas generales (Figura 10), existe un predominio de opiniones correspondientes a niveles "suficiente" y "óptimo". Las barras correspondientes al caso CV (Figura 8a) demuestran que, más allá de la presencia de bajos niveles de iluminancias, existe un predominio de opiniones correspondientes a niveles "suficientes" (52% del total de la muestra) y "óptimos" (32%). Se registran muy pocos votos como "insuficientes" (5%) o "apenas suficientes" (14%). Los mismos se manifiestan principalmente en los rangos de iluminación natural más bajos, correspondientes a 2000 y 4000 lx.

En el caso CV (Figura 10a), 49% de las personas encuestadas perciben que el ambiente presenta una cantidad de luz natural "suficiente" y 30%, "óptima".

Si bien en el caso CC (Figura 10b) aparece un mayor nivel y dispersión de iluminancias, las opiniones no presentan gran variabilidad. Existe una tendencia alta de opiniones

en condiciones suficientes y óptimas (84% entre ambas). Esto permite presumir que existe una adaptación visual de las personas al clima luminoso, es decir, que los sujetos se encuentran habituados a los elevados rangos globales de la región, o bien, la posibilidad de que los usuarios prefieran la sensación de sol desde el punto de vista de confort térmico (las temperaturas mínimas son del orden de los 6,3° C, mientras que las máximas 16,0 °C). Una de las razones puede ser que las personas priorizan la presencia de sol, teniendo en cuenta las bajas temperaturas registradas en la fecha de monitoreo, más allá de las molestias por desconfort a partir de deslumbramientos.

### Percepción de reflejos y fuentes de deslumbramiento.

En cuanto al procesamiento estadístico para la sensibilidad de las personas a deslumbramientos, se ha propuesto una división de los distintos niveles de luminancia de cada caso, teniendo en cuenta los percentiles 33, 66 y 100.

En el caso CV, casi la totalidad de la muestra no percibe molestias por deslumbramientos (Figura 11a), respuesta consecuente con los bajos rangos lumínicos que presenta el entorno urbano. La minoría que manifestó molestias, distinguió que los mismos estaban generados por luz reflejada proveniente de la edilicia, puntualmente de las superficies vidriadas en la fachada con exposición al Norte, como lo expresa la Figura 11b.

En este punto cabe aclarar que el 93% de las personas encuestadas no presentaban ningún tipo de protección solar como lentes de sol o gorras y que, dada la presencia



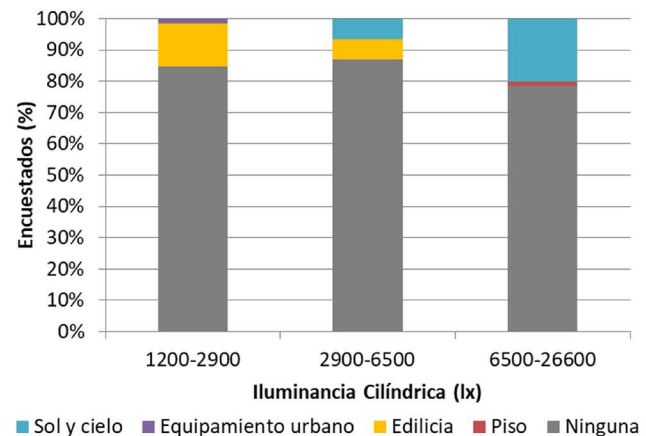
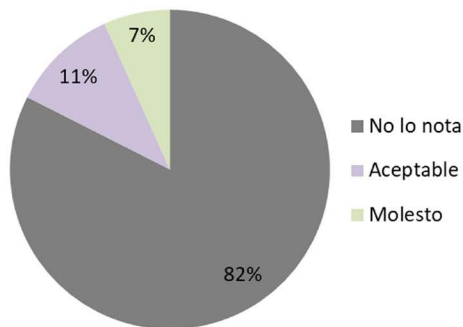
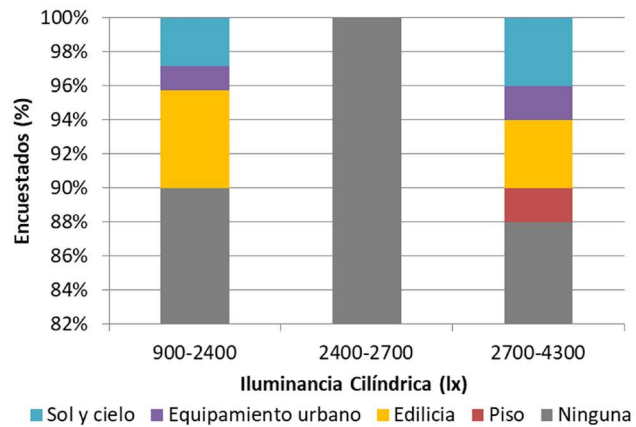
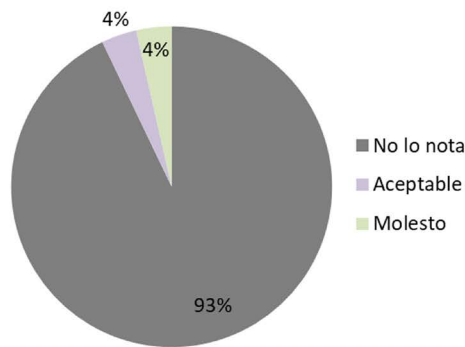


Figura 11. Percepción de deslumbramiento y de reflejos provenientes del entorno. Caso CV. Fuente: Elaboración de las autoras.  
 Figura 12. Percepción de deslumbramiento y de reflejos provenientes del entorno. Caso CC. Fuente: Elaboración de las autoras.

de sombras tampoco se manifestaron gestos o movimientos para apantallar sus ojos del exceso de luz (por ejemplo, disposición de las manos sobre los ojos, girar o doblar la cabeza, parpadeos).

En el espacio con mayor exposición al sol (CC), el 82% no percibe sensación de deslumbramiento (Figura 12a). Y en este punto, sorprende ver que, aunque los sujetos se encuentran bajo la incidencia de luz directa en el campo visual, no perciben sensación de deslumbramiento, incluso cuando prevalecen niveles de iluminancia cilíndrica superiores a los 20000 lx. Esto confirma nuevamente la capacidad de adaptación de las personas al clima luminoso regional. El resto de los usuarios se divide entre percepciones aceptables y molestas, y la distribución de las barras (Figura 12b) establece que la causa más frecuente de deslumbramientos parece ser la proveniente del sol y cielo (hasta 20%).

En este caso, la proporción de personas que presenta elementos de protección del sol y que manifiesta gestos para apantallar sus ojos es superior al caso CV (13 y 9%, respectivamente). Este porcentaje sigue siendo bajo si se considera los altos niveles de iluminancia.

## CONCLUSIONES

El trabajo presentado muestra resultados precisos de un estudio integral de luz solar y del confort visual en espacios abiertos de entornos urbanos típicos de la alta densidad edilicia, correspondiente a la estación invernal. El estudio permite analizar de qué manera se correlacionan parámetros subjetivos de las personas, en términos de preferencias, con aspectos físicos o cuantitativos según las diferentes componentes de la iluminación natural.

Por un lado, el análisis cuantitativo arrojó que los comportamientos lumínicos responden claramente a las configuraciones espaciales de la volumetría edilicia y a su vinculación con el clima local. En climas áridos, se comprueba una vez más que la radiación solar resulta determinante del comportamiento lumínico. Asimismo, se valora especialmente la volumetría como factor clave que condiciona la radiación incidente.

Desde el punto de vista lumínico, se ha determinado que, en cañones urbanos de alta densidad edilicia, existe una condición de sombra establecida resultante de la



componente de luz difusa (obstrucción de la edilicia). Mientras que, en configuraciones más abiertas, como cruces de calles, las condiciones son variables debido a contrastes de luz directa y difusa.

Los mapeos de luminancias muestran que las distribuciones lumínicas superficiales obtenidas no son homogéneas. Ello plantea la necesidad de medir y evaluar la distribución de luminancias no uniformes y sus cambios en el espacio y en el tiempo.

Finalmente, las opiniones resultantes de las valoraciones subjetivas, en la mayoría de las encuestas, han determinado que la cantidad de luz incidente en el campo visual muestra niveles suficientes en los espacios exteriores, más allá de las diferentes condiciones lumínicas que se puedan generar en el escenario urbano.

En cuanto a las opiniones sobre la presencia de sol, puede interpretarse que más allá de las diferencias lumínicas de los espacios, los sujetos se encuentran habituados al clima luminoso de la región, a las diferentes condicionantes que genera la morfología urbana y, consecuentemente, a la diversidad de contrastes que puede arrojar en el espacio urbano. En ese sentido, se puede corroborar que existe un efecto de adaptación del sistema visual de las personas a las particularidades de los climas luminosos de cada región, como se ha demostrado en estudios de confort visual en espacios exteriores de otras localizaciones, como Fribourg (Suiza), desarrollados por otros autores (Goyette y Compagnon, 2004).

A futuro, se propone continuar trabajando en el procesamiento de datos, esta vez correspondientes a la condición estival, y de esa forma poder constituir un abordaje integral del confort visual. Además, se planea llevar a cabo la interpolación de los aspectos lumínicos con los térmicos, de manera de generar pautas y guías en propuestas de diseño urbano.

## AGRADECIMENTOS

Las autoras agradecen la colaboración de la Ing. Agr. Claudia Martínez; Arqs. Noelia Alchapar, Victoria Mercado; Ing. Érica Correa; y los D.I. Ayelén Villalba, Juan Manuel Monteoliva y Andrea Pattini que posibilitaron el trabajo de encuestas y recogida de datos.

Cabe aclarar que el presente trabajo se desarrolló gracias a los recursos financiados por la AGENCIA NACIONAL DE PROMOCIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, en los proyectos: PICT 2006-2415 y PICT 2010 N° 2475.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROTAS, Luisa y WILSON, Michael. Reflected sunlight in urban canyons. Towards a new approach. En: *EPIC 2002 AIVC Energy Efficient & Healthy Buildings in Sustainable Cities – The 3rd European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings*. Lyon, France: Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), 2002, pp. 703-708.

BROTAS, Luisa y WIENOLD, Jan. Solar reflected glare affecting visual performance. En: *Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a Changing World*. Cumberland Lodge, Windsor Park, UK, London, 2014, Volume: In proceedings, pp. 688-693.

CANTÓN, María Alicia; CORTEGOSO, José Luis y DE ROSA, Carlos. Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*, 1994, n° 20, pp. 219-230.

COMISIÓN INTERNACIONAL D' ECLAIRAGE (CIE). Collection on Glare 2002: Equation for disability glare, 146 CIE C 1-50 report and Glare from small, large and complex sources, 147 CIE TC 3-01 report Commission Internationale de Léclairage.

COMPAGNON, Raphaël. *Solar and Daylight availability in urban areas*. PRECis project Final Technical Report, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, 2000.

COMPAGNON, Raphaël. Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings*, 2004, n°36, pp. 321-328.

COMPAGNON, Raphaël y GOYETTE-PERNOT, Joëlle. Visual comfort in urban spaces. En: ROGORA, Alessandro y DESSI, Valentina. *Il comfort visivo negli spazi urbani*. Monfalcone (Gorizia): EdicomEdizioni, 2003, pp. 63-73. CÓRICA, Lorena. *Comportamiento de la luz natural en entornos urbanos representativos del modelo oasis en regiones áridas. Caso de estudio: ciudad de Mendoza*. Tesis doctoral. Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión Herberto Büller. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán, 2010.

CÓRICA, Lorena y PATTINI Andrea. Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2005, vol. 3, n° 2, pp. 05.85-05.90.

FONTOYNONT, Marc; TSANGRASSOULIS, Aris y SYNNEFA, Afroditi. *Daylighting*. In: *SynthLight Handbook*. Bruselas: European Comision, 2004.

GAITANI, Niki; MIHALAKAKOU, G., y SANTAMOURIS, Mattheos. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment*, 2007, n°42, pp. 317-324.

GOYETTE, Joëlle y COMPAGNON, Raphaël. RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces Project: two case studies in Fribourg, Switzerland. En: *ICUC-5 Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, Poland, 2004.

GUTOROV, Mikhail. Srednjaja cilindreskaja osvetsesnost (Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke), *Svetotekhnika* 9, 1963, n° 10, pp. 10-13.

GUZOWSKI, Mary. *Daylightin for sustainable design*. New York: McGraw Hill, 2001.

INANICI, Mehlika y GALVIN, Jim. *Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique*. LBNL Report n° 57545, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.

ROMBAUTS, Patrick; VANDEWYNGAERDE, Hans y MAGGETTO, Gaston. Minimum Semicylindrical Illuminance and Modelling in Residential Area Lighting. *Lighting Research and Technology*, 1989, vol. 21, n° 2, p. 49-55.

TREGENZA, Peter. Mean daylight illuminance in rooms facing sunlit streets. *Building and Environment*, 1995, vol. 30, n° 1, pp. 83- 89.

TSANGRASSOULIS, Aris; SANTAMOURIS, Mattheos; GEROS, Vasilis; WILSON, Michael y ASIMAKOPOULOS, Dimosthenis. A method to investigate the potential of south-oriented vertical surfaces for reflecting daylight onto oppositely facing vertical surfaces under sunny conditions. *Solar Energy*, 1995, vol. 66, n°6, pp. 439-446.

TUMINI, Irina. *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura-Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España, 2012.



# POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN TECHUMBRE DE EDIFICIOS INDUSTRIALES DE ALTA DEMANDA ENERGÉTICA, EN ZONAS ECUATORIALES.

## PHOTOVOLTAIC POTENTIAL ON HIGH CONSUMPTION INDUSTRIAL BUILDINGS IN EQUATORIAL AREAS.

DIEGO SEBASTIÁN MARÍN-LÓPEZ  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad de Cuenca  
Cuenca, Ecuador  
diego.marinl@ucuenca.ec

ESTEBAN FELIPE ZALAMEA-LEÓN  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad de Cuenca  
Cuenca, Ecuador  
esteban.zalamea@ucuenca.edu.ec

EDGAR ANTONIO BARRAGÁN-ESCANDÓN  
Facultad de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Politécnica Salesiana  
Cuenca, Ecuador  
ebarragan@ups.edu.ec

### RESUMEN

La industria y edificaciones producen el 60% de gases de efecto invernadero en el mundo y, en concreto, consumen el 62% de la electricidad en Cuenca, Ecuador. Las zonas ecuatoriales andinas poseen en el sol una fuente energética consistente y relativamente estable durante el año. Las plantas industriales muestran superficies aptas para desplegar recolección solar fotovoltaica. Mediante un levantamiento volumétrico de una planta industrial de alto consumo, se realiza una propuesta de intervención en techumbre, para procurar una máxima ocupación de placas PV de sílice cristalino, considerando además aspectos de ventilación interior e iluminación natural. A través del modelo en BIM (Building Information Modeling) y de simulaciones en SAM®, se prevé un abastecimiento de un 22 % del alto consumo eléctrico actual, volumen equivalente a la demanda residencial de 17.328 habitantes o el 2 % del consumo total de la ciudad. A pesar de que, por políticas estatales de subsidio a combustibles, esta no constituye una inversión rentable, se demuestra aquí que es una alternativa para la eliminación de los mismos, considerando su carácter nocivo, tanto desde perspectivas económicas como ambientales.

### Palabras clave

energía solar, edificios industriales, eficiencia energética, fotovoltaicos adheridos a edificación, BAPV.

### ABSTRACT

Industrial and residential buildings account for 60% of greenhouse gas emissions worldwide, and more specifically, they consume 62% of the electricity in Cuenca, Ecuador. The sun provides equatorial Andean countries with a consistent and relatively stable energy source throughout the year. Industrial plants have suitable surface areas on which to install solar photovoltaic (PV) panels. Using a volumetric survey of a high-consumption industrial plant, a roof intervention is proposed to achieve maximum usage of crystalline silicon solar panels. Aspects of indoor ventilation and natural lighting are also considered. Through a BIM (Building Information Modelling) software model and simulations using SAM®, it is expected that 22% of the current high level of electricity consumption can be supplied, which is equivalent to the residential demand of 17,328 inhabitants, or 2% of the total consumption of the city. Although state fuel subsidy policies mean the proposal is not a profitable investment, this research demonstrates that it is an alternative that could be used to eliminate such policies, especially considering the fact that they are harmful both economically and environmentally.

### Keywords

solar energy, industrial buildings, energy efficiency, building-applied photovoltaics, BAPV.



|                                 | Emsula S.A    | Grupo Miguel | Cogal       | Company Lissag AG       | Mutna     | Innovent Technologies AG  | Polígono industrial Carlos I | Theo Rietschie AGEI | Riedel Recycling   |
|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|-----------|---|------------------------------|---------------------|--|
| Industria                       | Embotelladora | Textil       | Cunicultura | Fabricación de tuberías | Bodegas   | Fábrica de componentes para paneles planos, LED y equipos solares | Varias                       | Bebidas             | Preparación y almacenamiento de materiales de construcción |
| Ubicación                       | Honduras      | El Salvador  | España      | Suiza                   | Italia    | Suiza   | España                       | Suiza               | Alemania   |
| Dimensión (módulos PV)          | 12.000        | 3.000        | 720         | 506                     | 4.220     | 3.200   | 5.891                        | 1.080               | 11.000 (lámina delgada)                                    |
| Potencia (kW)                   | 3000          | 1000         | 180         | 98,7                    | 950       | 777,9   | 1200                         | 259,2               | 837  |
| Producción (kWh/año)            | 3.037.445     | 1.600.000    | 270.178     | 89.790                  | 1.083.410 | 700.128   | 1.711.200                    | 243.648             | 750.000  |
| Emanaciones ahorradas TCO 2/año | 31.500        | 10.400       | 100         | 45                      | 909       | 350,1   | 791                          | 121,8               | Sin Información  |

Tabla 1. Industrias y margen de auto-aprovisionamiento PV.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

## INTRODUCCIÓN

El abastecimiento energético de las edificaciones y ciudades deben, en el futuro inmediato, procurarse energía desde fuentes renovables para mantener el efecto de calentamiento global bajo el límite de + 2 °C (IRENA, 2017). La autogeneración urbana desde fuentes renovables permite reducir la dependencia de aprovisionamiento energético externo así como también las pérdidas por efecto de redes de distribución (Barragán et al., 2018). Los países en desarrollo son estratégicos en este escenario, en estos se prevé el mayor crecimiento de consumo (REN21, 2017). Sin embargo, para la generación urbana, se hace necesario salvar barreras, se requiere una configuración de la red de manera que esta trabaje bajo el escenario de producción-demanda intermitente y variable en tiempo y espacio. Se precisa, entonces, una normativa adecuada que garantice la accesibilidad solar y, al mismo tiempo, una normativa que viabilice este aspecto (Barragán et al., 2018; Wegertseder et al., 2016; Cárdenas y Uribe, 2012), además de la necesaria implementación de redes inteligentes (Smart Grid) (Mikkola et al., 2014).

Una alternativa promisoría para autogeneración urbana son los sistemas solares fotovoltaicos (*Photovoltaic* o PV por sus siglas en inglés). Esta tiene la capacidad de desplegarse en edificaciones, tanto en adhesión como en integración arquitectónica (Shukla, Sudhakar y Baredar, 2016), presenta además una reducción de costos consistente (IRENA, 2017). De forma complementaria, la generación PV muestra ventajas sociales, como la democratización energética, promoviendo la generación de puestos de trabajo. En un escenario óptimo, los recursos económicos destinados a la compra de energía

podrían ser orientados a financiar empresas de instalación y mantenimiento de los equipos (REN21, 2017).

Los edificios industriales, por lo general, deben abastecerse con importantes recursos energéticos. Si bien se ha analizado requerimientos por ambientación (Brinks, Kornadt y Oly 2016; Kampelis et al., 2017), estos tienden a ser secundarios, especialmente en climas templados, y más aún en industrias cuya producción implica un elevado consumo, dadas sus jornadas ininterrumpidas de 24 horas. En estos casos, aunque la integración de energías renovables permite alcanzar un abastecimiento parcial, es una estrategia importante estudiar otras opciones que puedan significar un sustancial ahorro económico, o bien, una disminución en las emisiones ligadas al calentamiento global. En la Tabla 1, se muestran algunos ejemplos de abastecimiento PV en industria a gran escala, en países con distintas connotaciones, realidades económicas y climáticas.

El complejo industrial sujeto a estudio es una fábrica de elaboración de plaquetas cerámicas y porcelanato para revestimientos de construcción, ubicada en el parque industrial de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Esta ciudad está ubicada a 2°52'47"S latitud y 78°58'27"O longitud, y se encuentra a 2487 msnm, por lo que las variaciones estacionales son mínimas, dándose una irradiación levemente mayor entre noviembre y enero, y levemente menor, entre mayo y agosto. El clima es estable y primaveral durante el año, con oscilaciones térmicas diarias, siendo la temperatura mínima de 8° C y máxima de 25° C (ClimateData-Org, 2018). Bajo este contexto, las demandas energéticas de ambientación son mínimas o inexistentes cuando se aplican estrategias pasivas como aprovechamiento solar pasivo, control de infiltraciones y ventilación. El consumo

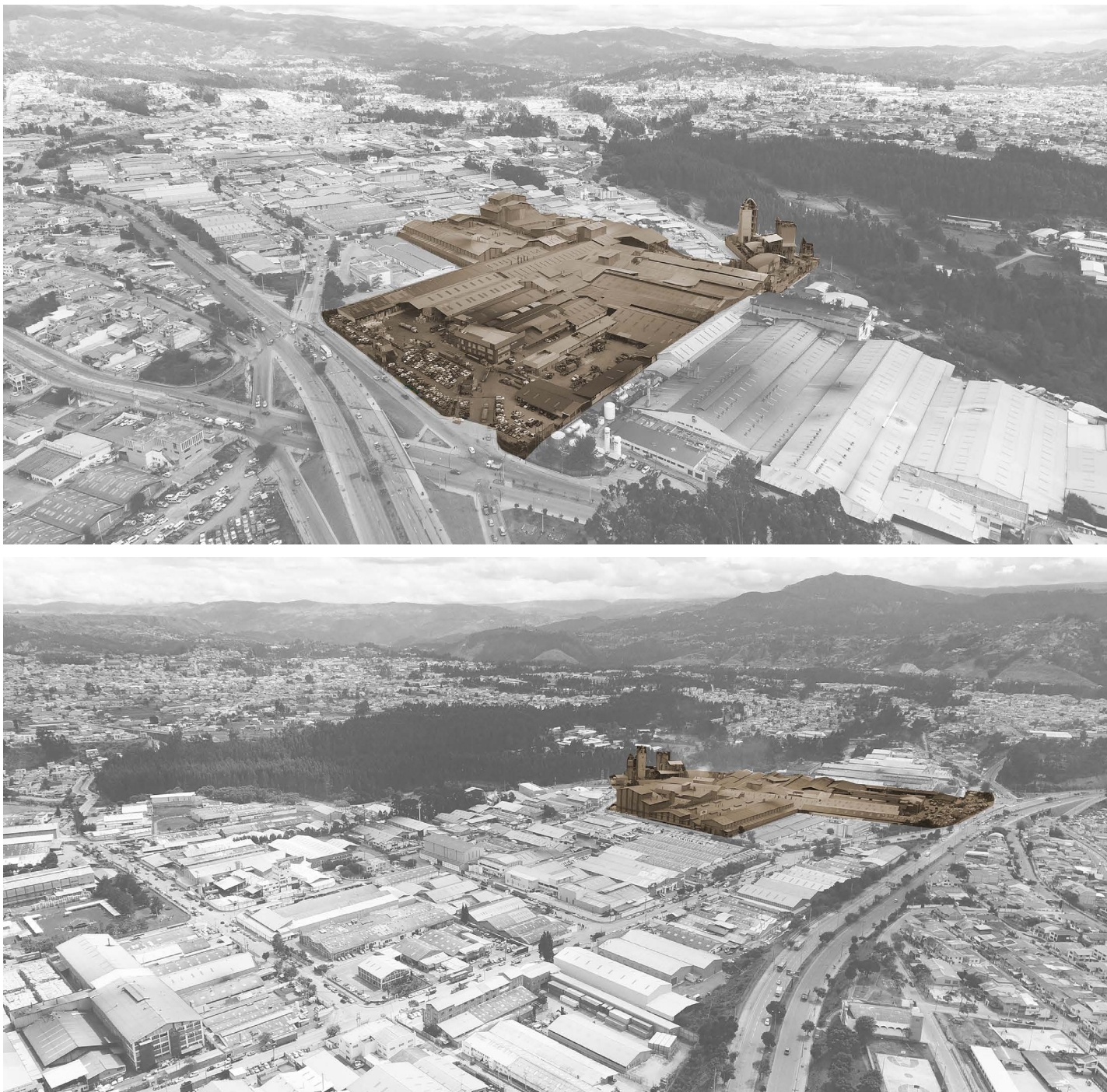


Figura 1. Vistas aéreas de planta industrial. Fuente: Elaboración de los autores.

energético de la planta registrado en 2016 es de 200.423.577,19, convertidos a kWh/año en diésel, gas licuado de petróleo, gas natural y electricidad. Al año, esta demanda señala que esta fábrica sola consume el 5% de la energía requerida en toda la ciudad de Cuenca, en todos los usos: industrial, residencial, transporte y urbano. De este consumo, el 19,4% corresponde a electricidad. Estos datos denotan la importancia de este complejo frente a los consumos locales, los cuales pueden ser abastecidos directamente desde electricidad PV *in situ*.

El conjunto de bloques industriales conforma una superficie construida de 53.300m<sup>2</sup> (Figura 1), lo que supone una ocupación similar en techos; se trata de extensos galpones de una planta, en su gran mayoría. Considerando el nivel de irradiación local de 1577 kWh/m<sup>2</sup>año (CONELEC, 2008), el complejo industrial recibe más de 84.000 MWh al año en irradiación solar directa y difusa, un importante potencial que debe traducirse en energía aprovechable.



Si bien la volumetría de la edificación es compleja y carece de regularidad formal, esta presenta uniformidad en cuanto a tipología estructural y faldones de techumbre amplios y regulares. A partir de ello, se realiza una propuesta de trabajo en la envolvente para posibilitar la inserción de PV en la techumbre, buscando una máxima ocupación, y a la vez mantener la iluminación cenital utilizada actualmente, pero que ahora se implantan como lucernarios dispersos que impedirían un despliegue total y uniforme de los PV. Se propone, de esta forma, sistemas pasivos que permitan promover la ventilación natural y el control de temperatura por efecto de convección interna. Los hornos de cocción y secado generan ganancias térmicas considerables, por lo cual por momento deben evacuarse para evitar sobrecalentamiento. Más allá de las posibilidades pasivas, este trabajo se centra en dimensionar la posibilidad de autogeneración PV, teniendo en cuenta las enormes demandas energéticas existentes. Ahora mismo está en estudio si la integración en edificaciones de tecnología solar activa -considerando las demandas y consumos de cada edificación- será más competitiva y rentable que, por ejemplo, implementación de aislamientos en la envolvente de las mismas (Cinnamon, 2018).

## METODOLOGÍA

A partir de la información proporcionada por la propia industria y la distribuidora de electricidad local (Centrosur), se caracteriza las demandas energéticas totales y además la fluctuación horaria del año 2016. La disponibilidad de los planos arquitectónicos y acceso para el reconocimiento in situ del sistema estructural y constructivo permiten estudiar la envolvente y la superficie envolvente de las edificaciones. Con la herramienta BIM Archicad de Graphisoft®, se reconstruye volumétricamente la planta industrial y, sobre ella, se redistribuye los accesos de iluminación cenital, para liberar espacio para aplicar PVs. Luego, se realiza una propuesta de ingreso solar natural y de ventilación para promover la ventilación. Para el despliegue fotovoltaico, se considera el formato típico de placas de sílice mono-cristalino. Con la herramienta vectorial de textura o "hatch" del BIM, se establece el margen de ocupación de fotovoltaicos en cada uno de los faldones, determinándose superficies disponibles de captación acorde a inclinación y orientación.

Con el fin de determinar la afectación por sombras, se utiliza la herramienta Ecotect de Autodesk®, analizando el recorrido solar de días de solsticio, así como en día de equinoccio. Por la latitud, el sol discurre casi perpendicularmente a la superficie terrestre durante todo el año y las desviaciones son al norte y sur, sin ser significativa la reducción de altura solar. En consecuencia, se considera una ocupación de PVs en la totalidad de superficies de techumbre, a pesar de que por horas se encuentren zonas sombreadas, porque al transcurrir el

día, reciben todas las superficies irradiación directa de todos modos. En un estudio local previo, se determinó que existe una importante incidencia solar producción y es apta para el despliegue de PV cualquier superficie inclinada, sobre todo cuando la pendiente es reducida (Izquierdo y Pacheco, 2017). Al analizarse virtualmente, se obtiene la superficie de fotovoltaicos disponible en distintas orientaciones e inclinaciones. Con base en ello, es factible determinar el rendimiento eléctrico acorde a inclinaciones y orientaciones, a través del software SAM® (NREL 2018) y a partir de modelo y archivo climático validado localmente. Las simulaciones efectuadas permiten detectar el rendimiento global de toda una posible instalación PV en producción horaria y establecer comparaciones de producción-demanda anual, mensual y en días característicos y extremos, según máxima y mínima irradiación.

Finalmente, se lleva a cabo un análisis de costo financiero, costos bajo situación actual y desde la perspectiva de eliminación de subsidios a la electricidad, suponiendo la posibilidad de alcanzar costos de instalación PV a precio internacional.

## RESULTADOS

### CONSUMO ENERGÉTICO

La planta industrial analizada presenta la condición de ser el foco de mayor demanda de energía térmica y eléctrica de la ciudad. El consumo eléctrico anual de 2016 fue de 38.899,3 MWh, correspondiente al 9,1% del consumo total urbano y al 36,9% del consumo industrial (Jaramillo, 2017). Los procesos industriales que se desarrollan allí tienen que ver con preparación de arcillas, secado y cocción a muy elevadas temperaturas. Los sistemas mecánicos funcionan en gran medida a partir de electricidad. El consumo eléctrico muestra variaciones diarias, que oscilan entre 55.000 kWh diarios a 135.000 kWh por día, siendo esta segunda magnitud, la más recurrente la mayor parte de días, lo que evidencia que la planta está en permanente producción. En período de mantenimiento programado (24 de diciembre hasta 15 de enero), la planta entra en proceso de receso, lo que provoca una reducción del consumo de entre los 10.000 y 28.000 kWh diarios. Si bien las demandas térmicas son superiores a las eléctricas, se descarta integrar colectores solares térmicos porque estos alcanzan una temperatura máxima de trabajo de 400°C, con tecnología factible de integrarse en edificaciones (Kalogirou, 2004), muy por debajo al requerido para los procesos de esta industria.

### INTERVENCIÓN EN ENVOLVENTE Y DESPLIEGUE PV.

En la primera etapa de relevamiento geométrico y de estructura típica (Figura 2) se establece una superficie total de techumbre. Se ha determinado que existe

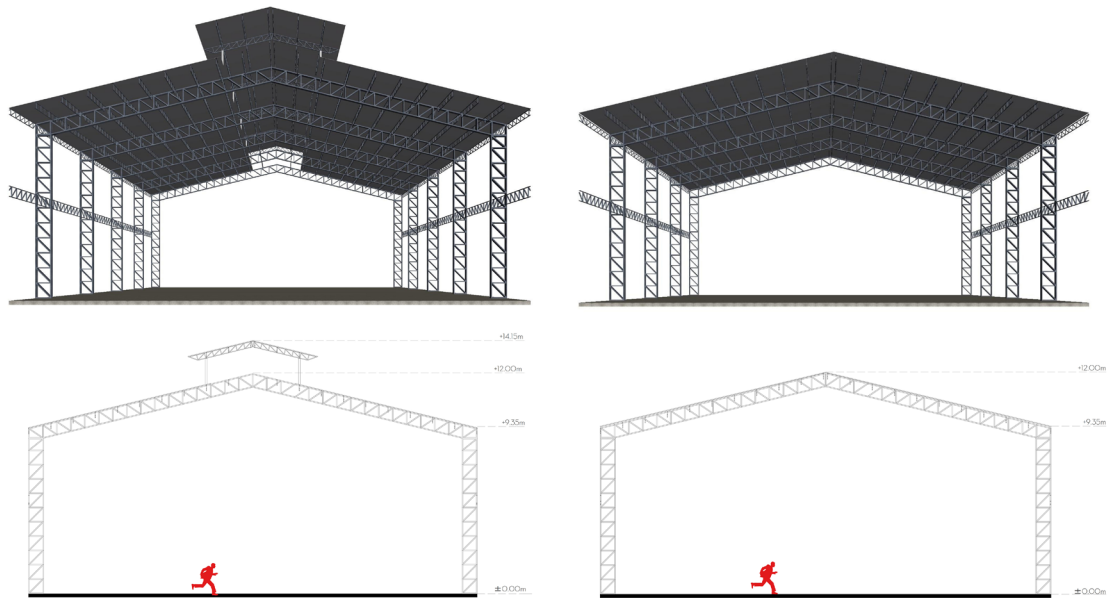


Figura 2. Estructura tipo estado actual cercha industria. Fuente: Elaboración de los autores.

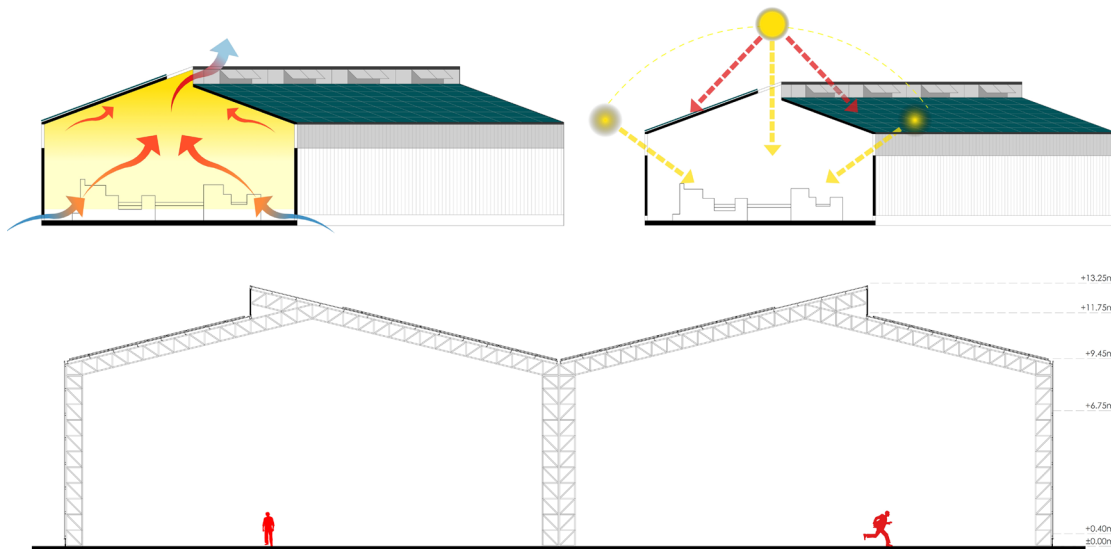


Figura 3. Propuesta de modificación en envolvente. Fuente: Elaboración de los autores.

alrededor de 53.360m<sup>2</sup> de superficies de techo inclinadas. Se realiza una revisión de la estructura y se evalúa las posibilidades de incluir en la envolvente nuevos accesos de iluminación natural para así liberar superficie de techumbre. Se propone, en las zonas inferiores de los paramentos exteriores, franjas practicables al igual que en remates superiores de techumbre en "sierra", para provocar efecto convectivo o Stack (Figura 3). A través de Ecotect, se confirman niveles de luminosidad aceptables.

Practicada la adecuación en la envolvente para liberar el acoplamiento de PVs, se analiza la adaptabilidad geométrica de los mismos. Las placas de sílice utilizadas son de sesenta celdas, uno de los productos más habituales en el mercado, cuya dimensión es de 1,65 m X 0,95m (Cinnamon, 2017b). Al desplegarse los PVs, se dimensiona una posible área de cobertura y captación PV de 48.241,35 m<sup>2</sup> (Tabla 2).



SUPERFICIE PV INSTALADA ACORDE A INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN (m<sup>2</sup>)

| Orientación (Norte = 0 °) | 215°    |    | 124°  |   | 34°     |    | 22°   |    |         |    |         | 112° |         |    |       |    | 202°  |    |         |    |       | 292° |       |    |       | 304° |         |  |         |  |         |  |         |  |         |  |         |  |       |  |       |  |         |  |       |  |         |  |       |  |         |  |         |  |
|---------------------------|---------|----|-------|---|---------|----|-------|----|---------|----|---------|------|---------|----|-------|----|-------|----|---------|----|-------|------|-------|----|-------|------|---------|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|--|-------|--|-------|--|---------|--|-------|--|---------|--|-------|--|---------|--|---------|--|
| Inclinación (°)           | 18      | 14 | 18    | 9 | 18      | 14 | 15    | 17 | 9       | 10 | 12      | 11   | 21      | 15 | 13    | 11 | 16    | 15 | 9       | 17 | 12    | 10   | 6     | 15 | 11    | 13   | 18      |  |         |  |         |  |         |  |         |  |         |  |       |  |       |  |         |  |       |  |         |  |       |  |         |  |         |  |
| Área (m <sup>2</sup> )    | 4.432,2 |    | 929,6 |   | 1.100,8 |    | 318,9 |    | 3.949,3 |    | 1.532,4 |      | 2.044,5 |    | 860,9 |    | 351,4 |    | 1.873,6 |    | 556,2 |      | 715,6 |    | 139,1 |      | 4.545,8 |  | 1.922,4 |  | 1.024,7 |  | 1.147,4 |  | 3.658,9 |  | 2.111,6 |  | 993,1 |  | 794,7 |  | 2.040,4 |  | 729,4 |  | 5.553,4 |  | 244,4 |  | 2.988,6 |  | 1.682,2 |  |

Tabla 2. Superficie PV disponible. Fuente: Elaboración de los autores.

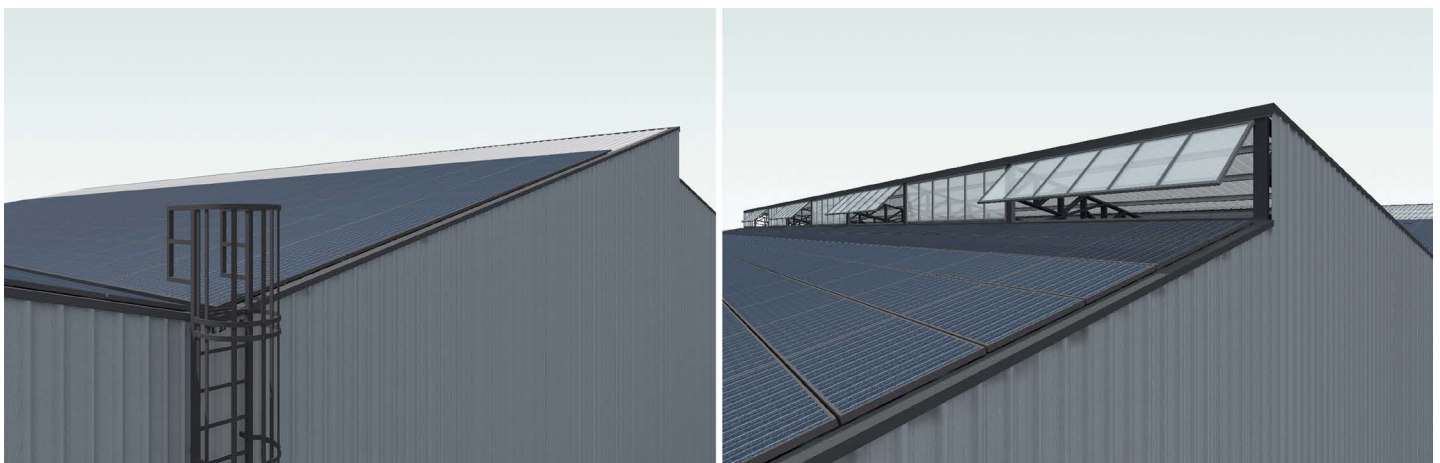


Figura 4. Fotomontaje de PVs en techumbre de industria analizada. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 5. PV en techumbres, detalle de ventoleras de ventilación y accesos para mantenimiento. Fuente: Elaboración de los autores.

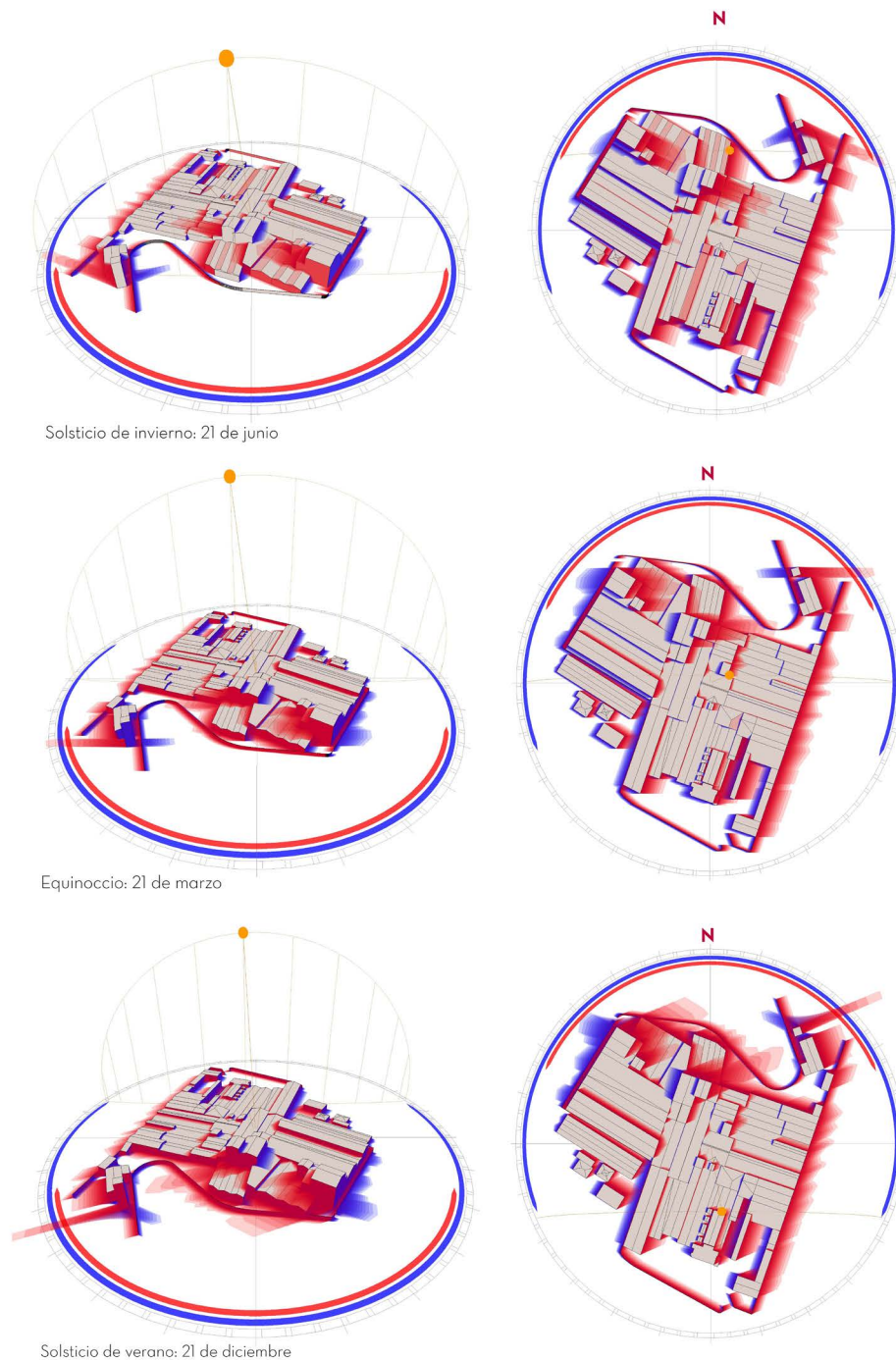


Figura 6. Simulaciones de sombreado en días de solsticio y equinoccio. Fuente: Elaboración de los autores.

En el mercado son cada vez más recurrentes las placas para integración arquitectónica (productos que cumplen doble función: generación y envolvente) (Kaan y Reijenga, 2004; Farkas, 2013), no obstante son productos nuevos y debería replantearse la totalidad de la subestructura existente para integrarlas. Las placas típicas superpuestas son económicas, además cumplirían la función de “fachada ventilada” sobre los techos, lo que hace posible, dado el efecto convectivo entre envolvente y placas, reducir el

sobrecalentamiento interior de las edificaciones y ventilar los PV, efecto requerido para mejorar su eficiencia (Biyik et al., 2017) (Figuras 4 y 5).

#### **SIMULACIÓN Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN PV.**

Una vez desplegados los PV, se realizan simulaciones en Ecotect® en días extremos de solsticio y equinoccio para determinar niveles de sombras y reducción en radiación

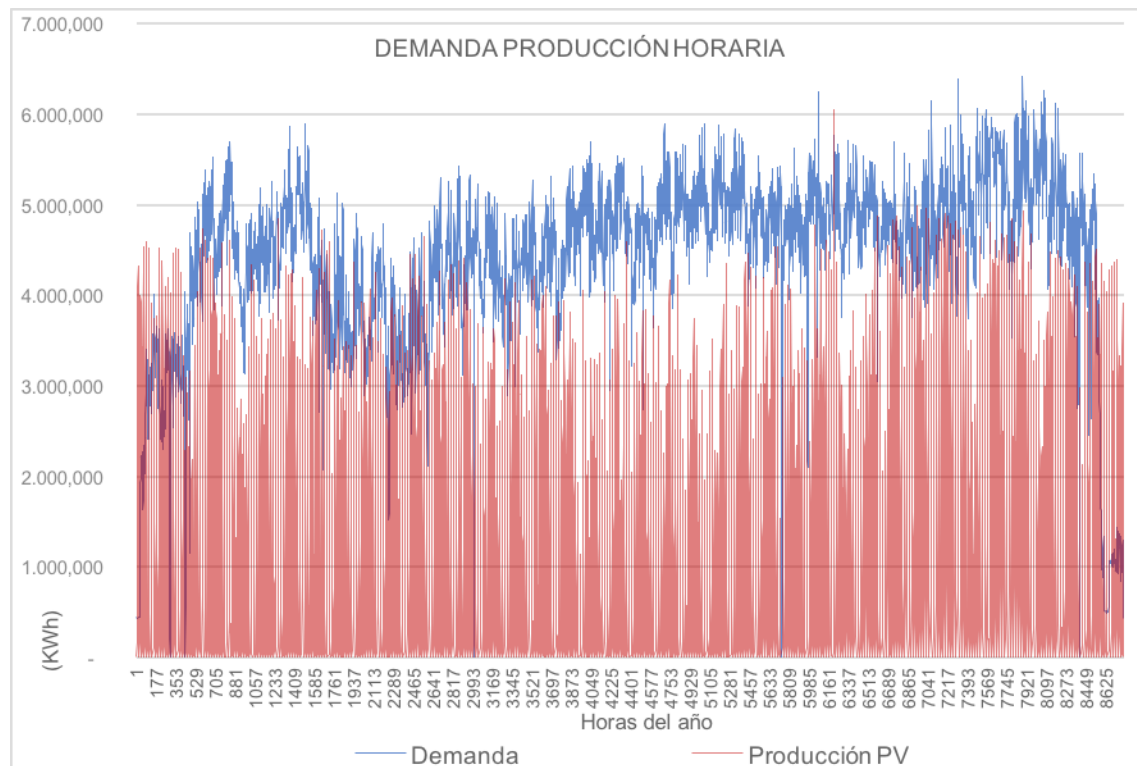


Figura 7. Comparación producción PV demanda eléctrica horaria. Fuente: Elaboración de los autores.

para producción PV. Los porcentajes de sombra acorde a horas de producción sirven para determinar al rendimiento PV. Como resultado, en medición anual, menos del 10 % de la superficie se ve afectada (Figura 6).

Se dispone, gracias a un estudio previo, de un modelo de simulación y archivo climático para software SAM® (NREL 2018), validado localmente para rendimiento de placas de sílice monocristalino. En aquel estudio se obtuvo un rendimiento fotovoltaico de probetas dispuestas en distintas orientaciones e inclinaciones características de techumbre, que se comparó con rendimientos locales (Izquierdo y Pacheco, 2017). El modelo presenta una fiabilidad, con un Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), de 0,996 y una raíz de error cuadrático medio (NRMSE) de 8,16 %, que es una magnitud bastante apropiada para simulaciones PV (Al Riza, Ul Haq Gilani y Aris Bin 2010). En consecuencia, este modelo se aplica para determinar el rendimiento posible bajo las orientaciones e inclinaciones existentes en la planta industrial.

Con la superficie fotovoltaica determinada y acorde a inclinación y orientación de los distintos faldones, se obtiene un rendimiento factible en margen horario. La curva de producción basada en la radiación del año 2016, se superpone a la de demanda registrada en el mismo año y se visualiza la capacidad de

abastecimiento eléctrico potencialmente alcanzable (Figura 7). De la imagen se infiere que las demandas superan casi siempre a la producción; no obstante, se visualiza, durante el año, cinco caídas de consumo a cero, situación probable por cortes eléctricos. Además, es evidente la reducción de consumo en las primeras dos y últimas dos semanas del año, donde la producción efectivamente rebasa el consumo en horas cercanas al medio día. Se observa, además, que desde la hora 6700 en adelante hasta fin de año, las producciones son sustanciales por incremento en irradiación y menores niveles de nubosidad, concordante con las características climáticas locales. Bajo este escenario son pocas las horas de sobreproducción, aunque en el gráfico se indica que pueden sobrepasar los 3000 kWh en hora de alta producción y demanda reducida (considerando solamente el período de consumo industrial). Complementariamente a la conexión para venta a red, en varias industrias es recurrente compaginar la instalación PV con almacenamiento eléctrico considerando la evolución reciente de las baterías de litio; tecnología que experimenta una dramática reducción de precio y que permite mantener las funciones básicas de una industria durante los cortes eléctricos. Además su implementación, también permite reducir la venta de sobreproducción (Cinnamon, 2017a). En la Figura 8 se expresa el consolidado de demanda-producción energética mensual, en el que se evidencia, en energía neta, el



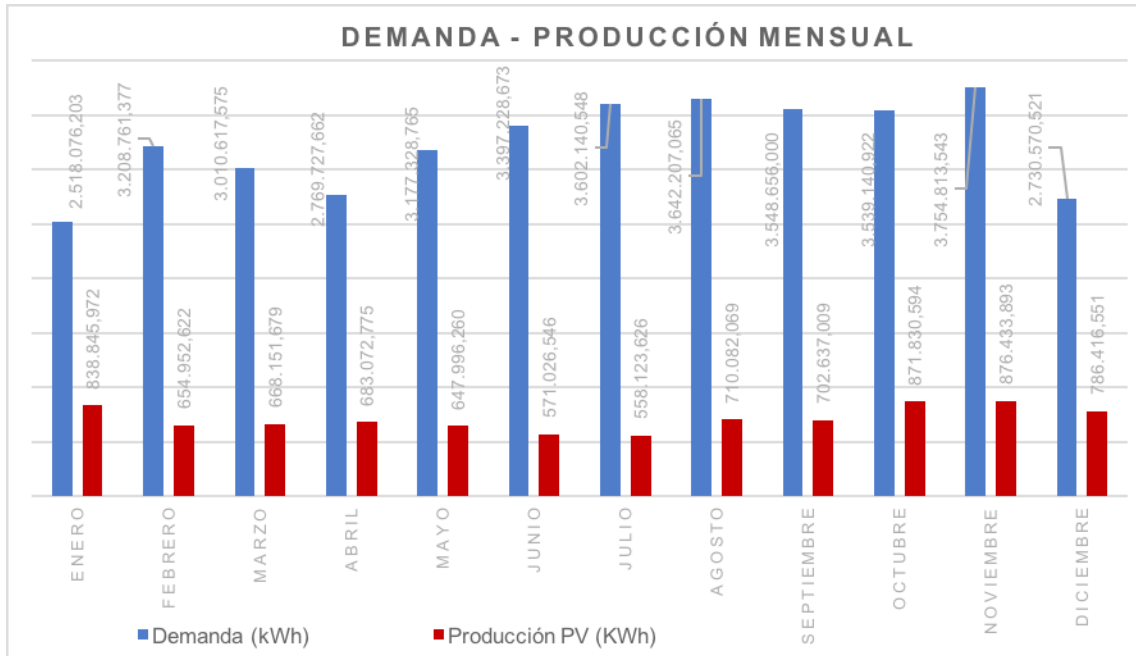


Figura 8. Comparación producción PV demanda eléctrica mensual. Fuente: Elaboración de los autores.

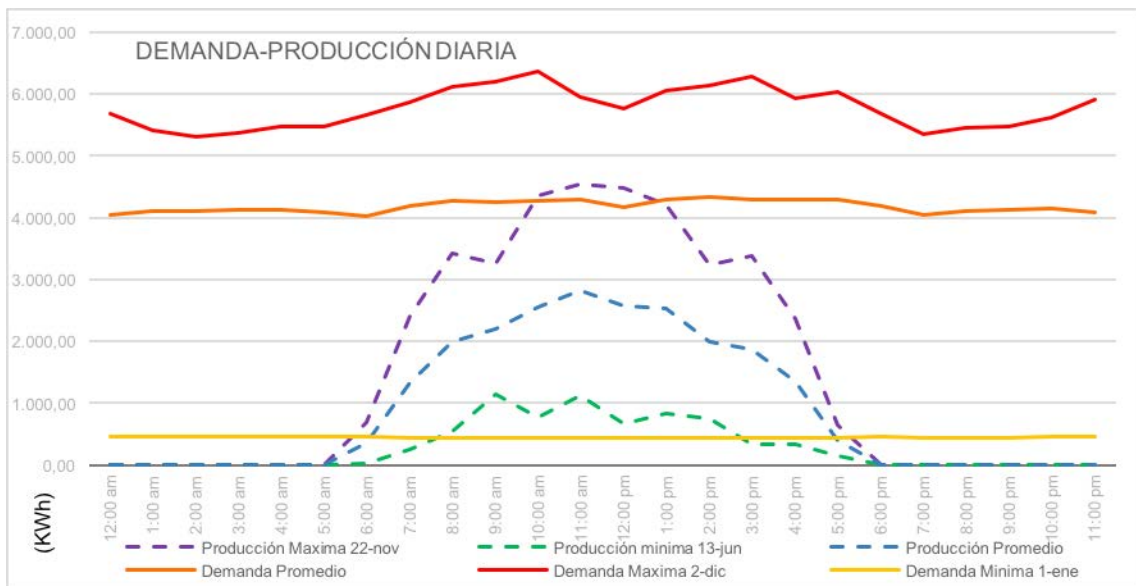


Figura 9. Curva horaria de producción PV de días de máximo, mínimo y promedio frente a demanda promedio. Fuente: Elaboración de los autores.

desbalance existente frente a demandas, a pesar de la gran superficie fotovoltaica supuesta. Superar los 48000 m<sup>2</sup> de superficie PV implica un margen de ocupación de 90,4% de techumbre existente; la superficie remanente es resultado de las franjas de accesibilidad de luz y remanentes por ocupación geométrica.

Adicionalmente, se analizan curvas de producción-consumo en días característicos y extremos acorde a producción y consumo. En la Figura 9 se observa la producción frente a demanda eléctrica detectados en 2016, es decir, los días de mínima irradiación (13 de junio y de máxima, el 22 de noviembre), frente a las curvas de consumo horario máximo (2 de diciembre) y el de mínimo (1 de enero). En esta, también se grafica el consumo y producción promedios. Es apreciable en esta comparación, que bajo producción-demanda promedio en la hora de máxima generación existe un déficit de más de 1200 kWh en promedio. El día de máxima producción (22 de noviembre) se generaría 36.978 kWh día, lo cual implica comparado con la demanda mínima registrada (10.645 kWh) que los excedentes potenciales máximos que se podrían alcanzar de coincidir condiciones extremas, son de más de 25 MWh en un día. Asimismo, se advirtió que la producción del día de máxima irradiación produciría 5,3 veces más que el día de mínima irradiación.

## ANÁLISIS DE ESCENARIOS FINANCIEROS.

Considerando los costos referenciales a nivel nacional de insumos (270 USD placa de 60 celdas frente a 144 USD ofertados por exportadoras Chinas) -situación consecuente con la baja demanda en el país (economía de escala)-, como también aranceles a importaciones, un reciente estudio local determinó un sobreprecio de alrededor de 78% en sistemas instalados (Izquierdo y Pacheco, 2017). De esa forma, se realiza aquí un análisis que toma como referencia los precios del mencionado estudio y se estima los costos, además de los de instalación y soportes típicos a gran escala. Igualmente, es necesario considerar el reemplazo de inversores en un período de 12 años (un recambio), por su vida útil, y gastos de mantenimiento y limpieza (Electric Power Research Institute, 2015)

Para la comparación de factibilidad financiera, se toma el costo actual de kWh subsidiado por el gobierno, es cual es de \$0,086 USD; frente a ello es necesario considerar que el precio real de la electricidad comercializada debería estar alrededor de \$0,162 USD (CELEC, 2014). Otro dato es la tasa de interés pasiva bancaria, que en la actualidad está en 4,99 % y que no presenta mucha variabilidad por ser Ecuador un país dolarizado y sin expectativa de cambio eminente. Bajo estos criterios se analizan cuatro escenarios. En todos ellos se considera el precio eléctrico, la tasa de interés, así como de costos de inversores eléctricos

todos ellos con precio constante (escenario pesimista, ya que la tendencia es reducción de precios en los equipos e incremento del costo de producción eléctrico). Así, los resultados son los siguientes:

- En el primer escenario se asumen las condiciones actuales, es decir, con precios ofertados localmente la instalación de 29.238 placas de sílice de sesenta celdas (48242 m<sup>2</sup> de PVs). Se considera además el mantenimiento de las instalación durante 25 años, todo ello lleva a un costo de alrededor de los \$11.501.268,00 USD. Se calcula que el ahorro anual para la industria, dejaría de pagar a la comercializadora eléctrica \$711.274,23 USD al año. Si se considera el precio actual de la electricidad subsidiada y que no ha variado desde 2009, el Valor Actual Neto resultante es negativo (-\$1.456.488,82 USD), con una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 3,7 %, inferior al interés pasivo, por lo que la inversión no es rentable.
- Si se modifica el escenario suponiendo es factible adquirir el equipamiento (placas e inversores solamente) a precio internacional, el precio de la instalación y mantenimiento se reduce a \$7.501.921,48 USD. Con ello el VAN sería positivo (\$2.542.863,64 USD) y el TIR resulta superior al interés pasivo (8,1 %), por lo que la inversión adquiere interés.
- En tercera instancia, se considera el retiro de los subsidios a la electricidad y esta se compra a precio de mercado que ahora se estima alrededor \$0,162 USD el kWh; por tanto, el ahorro en pagos a la empresa distribuidora al año sería de 1.388.270,18 USD. Si se adquiere los equipos a valor actualmente ofertado en el país, el VAN también resultaría positivo (\$ 8.104.216, 21 USD) y el TIR, en consecuencia, es más ventajoso que los dos escenarios anteriores, alcanzando un 11,2%. En este supuesto la inversión estaría cubierta en su totalidad en menos de nueve años, quedando 16 años de producción eléctrica de la instalación como ganancia.
- El cuarto escenario, acaso la situación óptima, contempla el retiro de subsidios a la electricidad y la instalación PV a precio internacional. Desde esta perspectiva, el VAN de la inversión se estima en \$12.103.562,73 USD (superior a la propia inversión) y el TIR se vuelve muy conveniente, 18,2 %, es decir, con amortización a un poco más de cinco años, y por ello se trataría de una rentabilidad muy alta.



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El contexto de este estudio está dado por un caso extremo de industria de tamaño significativo, considerando el ámbito urbano de emplazamiento; ello se magnifica tanto por el consumo y por el potencial solar. Con casi cinco hectáreas de producción PV, se alcanza a cubrir solamente un 22% de demanda eléctrica. Sin embargo, la producción anual de 8.569.569,6 kWh es muy relevante, significando esta, el consumo promedio residencial de 17.328 cuencanos. Frente al consumo total urbano de Cuenca, se abastecería el 2% de la demanda eléctrica de la ciudad, proporción comparable con la producción de eléctrica de la central Pichacay, que utiliza el biogás proveniente del relleno sanitario de la ciudad en Cuenca (Barragán, Arias y Terrados, 2016). Comparado a los ejemplos internacionales mostrados en la Tabla 1, casi triplica la producción energética del más alto de los casos de estudio referenciales, consecuencia de la dimensión de la infraestructura construida y de los altos niveles de irradiación.

Un breve análisis de rentabilidad permite observar algunos aspectos interesantes. Bajo las condiciones actuales, ciertamente la inversión no es atractiva, pero esto es consecuencia de actuales políticas estatales, como condiciones negativas para las importaciones y limitaciones de mercado. Se trata de emprendimientos no habituales con pocas empresas disponibles ofertando este tipo de instalaciones y aún con reducida competencia. Frente a ello, la electricidad es subsidiada a mitad de costo del real. Ello supone que el TIR se estima en apenas el 3,7%, inferior al interés pasivo y por ello no rentable. Si bien estas políticas proporcionan accesibilidad al recurso energético, no generan una condición ideal, ya que una menor proporción de estos recursos se destinan a los quintiles más bajos. De hecho, este constituye precisamente un tema de análisis que hoy enfrenta el país: se consumen considerables recursos públicos para el mantenimiento de estos subsidios, evidentemente mal focalizados (Creamer y Becerra, 2016). Con la potencial eliminación del mencionado subsidio, y con políticas para promover la importación que permitiese adquirir equipos a precio internacional tanto placas como inversores, se torna en una inversión muy rentable, la cual se pagaría en menos de cinco años respecto de veinticinco de usufructo. Si se elimina solamente el subsidio o se logra alcanzar precios internacionales en la instalación PV, se vuelve, en ambos casos, una inversión ventajosa respecto al interés pasivo, pero no del todo atractiva, ya que la rentabilidad no es alta y otros emprendimientos pueden resultar más interesantes. Complementariamente, existirían otros aspectos socialmente positivos como la generación de puestos de trabajo e independencia energética parcial,

como se mencionó al inicio de este artículo. Además, el retiro de subsidios y de barreras de importación conllevaría al natural surgimiento del sector y mayor reducción de costos en procesos de instalación. Si bien los resultados presentados responden a los precios actuales, se prevé que potencialmente se tornarían más atractivos, de mantenerse las tendencias de reducción de costos -desde el 2010 los precios PV han disminuido entre el 200% y 500%-, dependiendo del contexto e irradiación (IRENA, 2017). Sin duda, la revisión de políticas de subsidios energéticos tiene ahora una alternativa en la tecnología PV, por lo menos en relación a la parte eléctrica, y en futuro próximo, incluso, se pronostica como posibilidad para suplir demandas de combustibles con electricidad. Es, en efecto, una opción para países latinoamericanos como Argentina, Bolivia, Venezuela, además de Ecuador, que se ven sometidos a un exigente gasto público para subsidiar los energéticos (Navajas, 2015).

En cuanto a aceptabilidad social, arquitectónicamente estas tipologías de edificaciones no tienen valor significativo; por el contrario, el hecho de mostrar los PV en la techumbre denota preocupación ambiental, acaso mejorando el grado de aceptación a la marca y la empresa. En este sentido, difundir la autogeneración de energía y la reducción de emanaciones contaminantes, constituiría una excelente forma de publicidad para la industria que adopta la tecnología PV.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto "Abastecimiento energético renovable desde recursos endógenos, en ciudades de países en vías de desarrollo, en el marco del metabolismo urbano. Caso de Estudio Cuenca, Ecuador". Financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y del Centro de Investigación de la Facultad de Arquitectura (CINA) de la Universidad de Cuenca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL RIZA, Dimas; UL HAQ GILANI, Syed Ihtsham y ARIS BIN, Mohd. 2010. Measurement and Simulation of Standalone Solar PV System for Residential Lighting in Malaysia. En: *EFEEA'10 International Symposium on Environment Friendly Energies in Electrical Applications* (Ghardaia, Algeria, 2 a 4 de noviembre de 2010) [en línea]. Gardena: EFEEA'10, 2010, pp 1-6. [Consultado 4 febrero 2018]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Dimas\\_Al\\_Riza/publication/265942002\\_Measurement\\_and\\_Simulation\\_of\\_Standalone\\_Solar\\_PV\\_System\\_for\\_Residential\\_Lighting\\_in\\_Malaysia/links/55d4455a08ae0b8f3ef94359.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dimas_Al_Riza/publication/265942002_Measurement_and_Simulation_of_Standalone_Solar_PV_System_for_Residential_Lighting_in_Malaysia/links/55d4455a08ae0b8f3ef94359.pdf).

BARRAGÁN, Antonio; ARIAS, Pablo y TERRADOS, Julio. Fomento del metabolismo energético circular mediante generación eléctrica proveniente de rellenos sanitarios: Estudio de caso, Cuenca, Ecuador. *Promoting Circular Energy*

Metabolisms through Electricity Generation from Landfills: Case study. *INGENIUS: Revista de Ciencia y Tecnología* [en línea], 2016, vol. 16, pp. 36-42. DOI [/doi.org/10.17163/ings.n16.2016.05](https://doi.org/10.17163/ings.n16.2016.05).

BARRAGÁN, Antonio; TERRADOS, Julio; ZALAMEA, Esteban y ARIAS, Pablo. Electricity production using renewable resources in urban centres. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy* [en línea], 2018, vol. 171, n.º 1, pp. 12-25. DOI [10.1680/jener.17.00003](https://doi.org/10.1680/jener.17.00003).

BIYIK, Emrah; ARAZ, Mustafa; HEPBASLI, Arif; SHAHRESTANI, Mehdi; YAO, Runming; SHAO, Li; ESSAH, Emmanuel; OLIVEIRA, Armando; DEL CAÑO, Teodosio; RICO, Elena; LECHÓN, Juan Luis; ANDRADE, Luisa; MENDES, Adélio y ATLI, Yusuf. A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal* [en línea], 2017, vol. 20, n.º 3, pp. 833-858. DOI [10.1016/j.jestch.2017.01.009](https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.01.009).

BRINKS, Pascal; KORNADT, Oliver y OLY, Rene. Development of concepts for cost-optimal nearly zero-energy buildings for the industrial steel building sector. *Applied Energy* [en línea], 2016, vol. 173, pp. 343-354. DOI [10.1016/j.apenergy.2016.04.007](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.007).

CÁRDENAS, Luz y URIBE, Paula. Acceso solar a las edificaciones: El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de Urbanismo*, 2012, vol. 26, pp. 21-42.

CELEC. Vigente el mecanismo de subsidio eléctrico. Preguntas frecuentes [en línea], 2014. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/noticias/vigente-el-mecanismo-para-subsidio-electrico>.

CINNAMON, Barry. The Economics of Commercial Energy Storage Systems [en línea]. Campbell, CA., 2017a. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <http://cinnamon.energy/economics-commercial-energy-storage-systems/>.

CINNAMON, Barry. Which solar panels are best? [en línea]. S.I., 2017b. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <https://soundcloud.com/cinnamonsolar/what-solar-panels-should-i-buy>.

CINNAMON, Barry. 21<sup>st</sup> Century Home Energy Efficiency [en línea]. San Diego, CA, 2018. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <https://cinnamon.energy/21st-century-home-energy-efficiency/>.

CLIMATEDATA-ORG. CLIMATE: CUENCA [en línea], 2018. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/875185/>.

CONEELEC. Atlas solar del Ecuador. *Conelec* [en línea], pp. 1-51, 2008. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf).

CREAMER, Bernardo y BECERRA, Rafaela. Cuantificación de los subsidios de derivados del petróleo a los hidrocarburos en el Ecuador. *Petróleo al día. Boletín Estadístico del Sector de Hidrocarburos* [en línea], 2016, vol. 2, pp. 9-26. [Consultado 3 enero 2018]. Disponible en: <http://www.observatorioenergiaminas.com/archivos/boletin/>

[petroleoaldia02](http://petroleoaldia02).

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. Budgeting for solar PV plant operations & maintenance: practices and pricing [en línea]. S.I., 2015. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2016/160649r.pdf>.

FARKAS, Klaudia. Designing photovoltaic systems for architectural integration. Criteria and guidelines for product and system developers [en línea]. San Francisco, 2013. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/task41A3-2-Designing-Photovoltaic-Systems-for-Architectural-Integration.pdf>.

IRENA. *REthinking Energy* [en línea]. S.I.: IRENA, 2017. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: [file:///Users/estebanzalamea/Desktop/IRENA\\_REthinking\\_Energy\\_2017.pdf](file:///Users/estebanzalamea/Desktop/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf).

IZQUIERDO, Ismael y PACHECO, Gustavo. *Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca* [en línea]. S.I.: Universidad de Cuenca, 2017. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27386>.

JARAMILLO, Christian. *Estudio de metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca* [en línea]. S.I.: Universidad Politécnica Salesiana, 2017. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14260/1/UPS-CT007009.pdf>.

KAAN, Henk y REIJENGA, Tjerk. Photovoltaics in an architectural context. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* [en línea], 2004, vol. 12, n.º 6, pp. 395-408. DOI [10.1002/pip.554](https://doi.org/10.1002/pip.554).

KALOGIROU, Soteris. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* [en línea], 2004, vol. 30, pp. 231-295. DOI [10.1016/j.pecs.2004.02.001](https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001).

KAMPELIS, N., GOBAKIS, K., VAGIAS, V., KOLOKOTSA, D., STANDARDI, L., ISIDORI, D., CRISTALLI, C., MONTAGNINO, F.M., PAREDES, F., MURATORE, P., VENEZIA, L., DRACOU, K., MONTENON, A., PYRGOU, A., KARLESSI, T. y SANTAMOURIS, M. Evaluation of the performance gap in industrial, residential & tertiary near-Zero energy buildings. *Energy and Buildings* [en línea], 2017, vol. 148, pp. 58-73. DOI [10.1016/j.enbuild.2017.03.057](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.057).

MIKKOLA, Jani; SALPAKARI, Jyri; YPYÄ, Jo y LUND, Peter. Increasing the Solar Share through Smart Matching of PV, Load and Energy Infrastructure in Urban Context. En: *4th Solar Integration Workshop* (Berlín, 10-11 de noviembre de 2014). Berlín: Uta Betancourt y Thomas Akerman, 2014, pp. 47-83. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/273757873\\_Increasing\\_the\\_Solar\\_Share\\_through\\_Smart\\_Matching\\_of\\_PV\\_Load\\_and\\_Energy\\_Infrastructure\\_in\\_Urban\\_Context](https://www.researchgate.net/publication/273757873_Increasing_the_Solar_Share_through_Smart_Matching_of_PV_Load_and_Energy_Infrastructure_in_Urban_Context)

NAVAJAS, Fernando. Subsidios a la energía, devaluación y precios [en línea]. S.I., 2015. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: [http://www.fiel.org/publicaciones/Documentos/DOC\\_TRAB\\_1431636145020.pdf](http://www.fiel.org/publicaciones/Documentos/DOC_TRAB_1431636145020.pdf).

NREL. System Advisor Model (SAM). *U.S. Department of Energy* [en línea], 2017. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: <https://sam.nrel.gov>.

REN21. *Renewables 2017: global status report* [en línea]. S.I., 2017. [Consultado 2 enero 2018]. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399\\_GSR\\_2017\\_Full\\_Report\\_0621\\_Opt.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf)<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.049><http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>.

SHUKLA, Akash Kumar; SUDHAKAR, K. y BARENDAR, Prashant. A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system. *Energy and Buildings* [en línea], 2016, vol. 128, pp. 99-110. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.06.077.

WEGERTSEDER, Paulina; LUND, Peter; MIKKOLA, Jani y GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Combining solar resource mapping and energy system integration methods for realistic valuation of urban solar energy potential. *Solar Energy* [en línea], 2016, vol. 135, pp. 325-336. DOI 10.1016/j.solener.2016.05.061.





# CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE METODOLOGÍAS INTERNACIONALES Y NORMAS IRAM PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL EDILICIA DE LA VIVIENDA: ANÁLISIS DIRIGIDO A LA CONTEXTUALIZACIÓN REGIONAL PARA ZONAS ÁRIDAS DE ARGENTINA.

Artículo  
Recibido 08-02-2018  
Aceptado 07-07-2018

## CHARACTERIZATION AND DIAGNOSIS OF INTERNATIONAL METHODOLOGIES AND IRAM REGULATIONS FOR THE ENVIRONMENTAL EVALUATION OF HOUSING: ANALYSIS DIRECTED TO THE REGIONAL CONTEXTUALIZATION FOR ARID ZONES OF ARGENTINA.

ANALIA ALEJANDRA ALVAREZ  
Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental (INEAA)  
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD),  
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)  
San Juan, Argentina  
ana\_alv023@hotmail.com

ARTURO FLORENTINO BUIGUES NOLLENS  
Instituto de Mecánica Aplicada (IMA), Facultad de Ingeniería (FI)  
Consejo Nacional de Ciencia y Técnica, CONICET,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)  
San Juan, Argentina  
abuigues@unsj.edu.ar

### RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo determinar la factibilidad de contextualización de las Metodologías de Evaluación Ambiental (MEAs) aplicables a la valoración de la vivienda de mayor relevancia a nivel internacional, frente al desarrollo actual de la normativa argentina IRAM en materia de sustentabilidad. Para ello, se analizan, por un lado, BREEAM, LEED, CASBEE y VERDE y, por otro, MEAs contextualizadas y desarrolladas en Jordania y Corea. Se utiliza como técnica de investigación el estudio teórico de las MEAs mencionadas, a través de lo cual se caracterizan y diagnostican dichas herramientas. Como resultado se obtiene el marco operativo en que se circunscriben sus desarrollos, las variables de análisis, el tipo de información contenidas en las mismas y sus principales limitaciones. Del contexto nacional, se extrae que corresponden a la normativa IRAM los principales avances en lo que respecta a calidad edilicia, desde una perspectiva centrada en la sustentabilidad. Se concluye que la correlación entre la metodología VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G y la normativa IRAM, permite construir un sistema de indicadores que facilita el desarrollo de una metodología contextualizada a la situación físico-ambiental, económica y social de Argentina en general y, en particular, orientada al caso de la Vivienda Social en Zona Árida (VSZA).

### Palabras clave

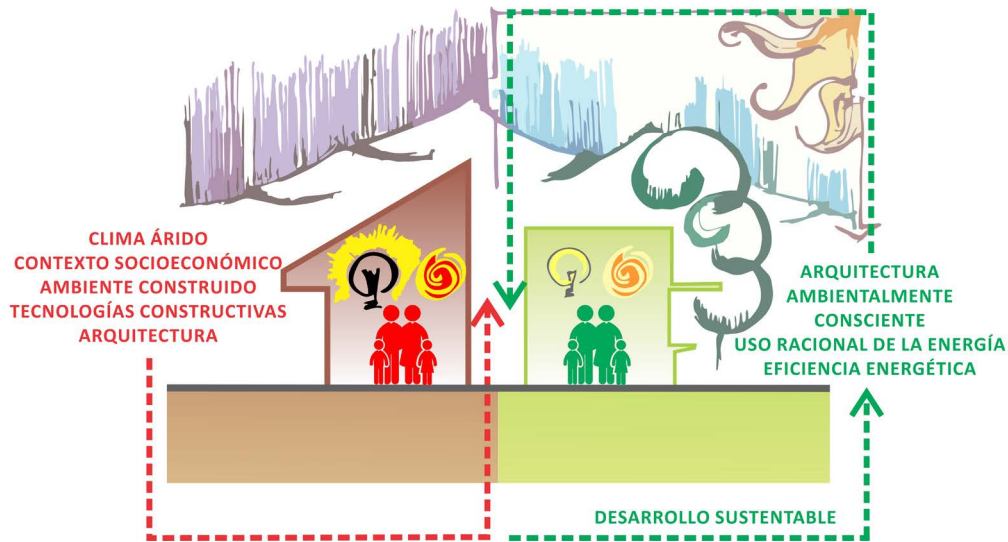
sustentabilidad, métodos de evaluación ambiental, contextualización, vivienda.

### ABSTRACT

This article has as aims determine the feasibility of contextualization of Environmental Assessment Methodologies (MEAs) of greater relevance at the international level that are applicable to the assessment of housing, compared to the current development of the Argentine IRAM regulations on sustainability. To do this, BREEAM, LEED, CASBEE and VERDE are analyzed on the one hand, and on the other, contextualized MEAs developed in Jordan and Korea. The theoretical study of the aforementioned MEAs is used as a research technique, through which these tools are characterized and diagnosed. As a result, we obtain the operational framework in which their developments are circumscribed, the analysis variables, the type of information contained in them and their main limitations. Respect to the national context, it is extracted that the main advances in regard to building quality, from a perspective centered on sustainability, correspond to the IRAM rules. It is concluded that the correlation between the methodology VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G and IRAM, allows to build a system of indicators that facilitate the development of a contextualized methodology to the physical-environmental, economic and social situation of Argentina in general and in particular oriented to the case of Social Housing in Arid Zone (VSZA).

### Keywords

sustainability, methods of environmental assessment, contextualization, housing.



Figuras 1. Representación gráfica de la situación actual del hábitat social en Argentina en relación con el escenario edilicio sustentable que debiera ser considerado en una zona árida. Fuente: Elaboración de los autores.

## INTRODUCCIÓN

Argentina posee un 75% de su territorio comprendido en la Diagonal Árida de América del Sur, con grandes extensiones de tierra infértil, donde la escasez de recursos naturales, principalmente el agua (12% de los recursos hídricos superficiales) limita en gran medida las posibilidades de desarrollo. Habitan en este sector aproximadamente 12.000.000 de personas, es decir, un 30% del total nacional (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005). En este contexto, la situación actual de la Vivienda Social (VS) presenta un marcado carácter deficitario que, en lo cualitativo, se relaciona con carencias a nivel funcional, formal y tecnológico, lo cual se traduce en la restricción de la calidad de vida de sus ocupantes. Al respecto, Mitchell<sup>1</sup> (2005) manifiesta que una vivienda es saludable si garantiza confort higrotérmico, espacios en cantidad y calidad suficientes y además resulta energéticamente eficiente. Sobre dicha base, realizar mejoras en la envolvente evitaría la obsolescencia funcional de la VS, al tiempo que se obtendrían mayores estándares de calidad habitacional, reducción de emisiones a la atmósfera y la disminución del consumo de energía superfluo. Consecuentemente, se optimizarían las condiciones de vida del usuario y la protección del ambiente (Figura 1).

De esta manera, garantizar un estándar de calidad habitacional superior al mínimo implica la consideración de aspectos endógenos vinculados a su materialidad, espacialidad y adaptación al medio físico, como también

a características exógenas relacionadas con el contexto construido y ambiental que rodea a la vivienda. En este sentido, es necesario desarrollar un estándar integral con base en la concreción del concepto de vivienda digna (Moreno Crossley, 2015), donde el incremento de la calidad de vida de su usuario resulte prioritaria. Para ello, es necesario que los actores de mayor peso en la toma de decisiones, entiendan que el cambio climático constituye una oportunidad para identificar nuevas formas de concebir la arquitectura y el proceso constructivo.

## MEAS A NIVEL INTERNACIONAL: CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO

Las metodologías de evaluación ambiental (MEAs) de mayor popularidad<sup>2</sup> han sido exportadas a distintos contextos como versiones internacionales. Esta situación plantea la necesidad de dar respuesta a ciertas condiciones clave, las cuales tienen que ver con la definición de un lenguaje común estandarizado que facilite la realización de contextualizaciones lógicas y en armonía con el entorno ambiental, social y económico en el que se requiera su implementación, con el fin de lograr rangos mayores de transparencia que garanticen que el resultado conseguido goce de un alto grado de credibilidad. Para obtener esta última, es crucial establecer claramente tanto los objetivos de la evaluación como las bases para la valoración de

[1] Profesional Principal del CONICET, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) del CONICET-Mendoza.

[2] Corresponde a las MEAs desarrolladas en el marco del Building Research Establishment (BRE), el iSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment) y el World Green Building Council (GBC).

| Enfoque para la comparación |                                    | Metodologías de evaluación ambiental |             |             |             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| Características             |                                    | BREEAM                               | LEED        | CASBEE      | VERDE       |                                    |
| A                           | Aspectos generales                 |                                      | Herramienta | Herramienta | Herramienta | Herramienta                        |
|                             | Aspectos contextuales              | Decisores                            | ■           | ■           | ■           | ■                                  |
|                             |                                    | Propósito                            | ■           | ■           | ■           | ■                                  |
|                             |                                    | Objetivo                             | □           | □           | ■           |                                    |
|                             |                                    | Perspectiva                          | ■           | ■           | ■           | ■                                  |
|                             | Aspectos metodológicos             | Dimensiones                          | □           | □           | □           | ■                                  |
|                             |                                    | Carácter                             | ■□          | ■□          | ■□          | ■                                  |
|                             |                                    | Bases para la comparación            | Indicador   | Indicador   | Indicador   | Indicador normativa tiempo de vida |
|                             |                                    | Límites                              | □           | □           | □           | ■                                  |
|                             |                                    | Tipo de datos                        | ■           | ■           | ■           | ■                                  |
|                             | Evaluación de resultados           |                                      | ■           | ■           | ■           | ■                                  |
| Aplicación del marco        |                                    | Compiten                             |             |             |             |                                    |
| B                           | Estructura                         | ■                                    | ■           | ■           | ■           |                                    |
|                             | Contenido                          | □                                    | □           | ■           | ■           |                                    |
|                             | Agregación                         | ■                                    | ■           | ■           | ■           |                                    |
|                             | Alcance                            | □                                    | □           | □           | ■           |                                    |
| C                           | Modelización                       |                                      |             |             | ■           |                                    |
|                             | Representatividad de la valoración |                                      |             | ■           | ■           |                                    |
|                             | Viabilidad de uso                  | ■                                    | ■           | ■           | ■           |                                    |
|                             | Claridad                           | □                                    | □           | □           | ■           |                                    |
|                             | Capacidad de guiar                 |                                      |             |             | ■           |                                    |

Tabla 1. Análisis comparativo de las MEAs.

Fuente: Elaboración de los autores con base en Baumann y Cowell (1999), Wallhagen et al. (2013) y Monterotti (2013).

■ La MEA responde totalmente a las características del enfoque □ La MEA responde parcialmente a las características del enfoque

las categorías, criterios, indicadores e impactos que conforman la estructura jerárquica de datos de la matriz que da origen a la metodología.

La forma en que es realizada la puntuación es quizás el aspecto de mayor discusión en relación con las MEAs. En efecto, los sistemas de ponderación son cuestionados por ser considerados superficiales e igualitarios para diferentes contextos, así como por dar mejores puntuaciones a sistemas mecánicos y tecnología de punta, en lugar de otorgarla a aquellos sistemas pasivos que acompañaran al edificio a lo largo de toda su vida útil. Por otro lado, Alyami y Rezgui (2012), Ali y Al Nsairat (2009) y Kim et al. (2005) detectan que el proceso analítico jerárquico desarrollado por Saaty, en 1977, es una de las propuestas más viables en la búsqueda de una respuesta a estas circunstancias.

De acuerdo con Quezada Molina (2014), dentro de las MEAs de mayor relevancia a nivel mundial se destacan, por pertenecer a programas internacionales, servir de base para nuevos desarrollos, constituir herramientas avanzadas y poseer tipologías específicas para el

caso de la vivienda, las siguientes: BREEAM, LEED, CASBEE y VERDE. Al respecto, el mismo autor analiza comparativamente las MEAs mencionadas conforme al Marco de Evaluación para Enfoques Conceptuales y Analíticos en Gestión Ambiental (A), desarrollado por Baumann y Cowell (1999). En esta investigación, además de dicho marco, se utiliza los enfoques: Marco para la Comparación Detallada de Herramientas de Evaluación Ambiental Edilicia (B), de Wallhagen et al. (2013), y Análisis y propuesta sobre la contribución de las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios a su eficiencia ambiental (C), elaborado por Monterotti (2013). La Tabla 1 expone los resultados alcanzados en los distintos enfoques abordados para el análisis comparativo de las MEAs seleccionadas.

De la Tabla 1 se desprende que BREEAM y LEED son métodos de evaluación de "primera generación" con un marcado énfasis en el uso de los recursos, en tanto CASBEE y VERDE son herramientas más recientes que muestran rasgos estructurales que los diferencian de los anteriores y, por tanto, constituyen instrumentos de

“segunda generación”. A pesar de que estos últimos todavía emplean gran parte del sistema de ponderación de sus antecesores, pueden ser considerados como nuevas herramientas orientadas a alcanzar estilos de vida más sustentables (Cole, 2007).

## METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EDILICIA CONTEXTUALIZADAS, COMO CAMINO POSIBLE HACIA LA SUSTENTABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN.

De acuerdo con Alyami y Rezgui, las MEAs existentes no deberían ser aplicadas en sus formatos originales en cualquier contexto. Al respecto, estos autores hacen hincapié en la influencia sobre los resultados que tienen las variaciones regionales. Sobre dicha base, subrayan que los sistemas de evaluación de mayor relevancia a nivel internacional poseen “convergencias que deben identificarse en pos de argumentar los criterios propuestos en potenciales nuevas metodologías de evaluación ambiental” (2012: 1055). En coincidencia, Ali y Al Nsairat (2009) se valen del estudio de estas herramientas para definir la metodología a emplear en el desarrollo de un instrumento que dé respuesta a las condiciones locales.

Según lo expuesto por los autores citados, se concluye que el desarrollo de una herramienta de evaluación ambiental regionalizada responde a un mismo Marco Operativo, el cual se caracteriza por la sucesión de seis etapas relacionadas con:

**Estructura de datos:** selección de criterios a evaluar, los cuales surgen del análisis pormenorizado de los criterios empleados por herramientas de renombre internacional.

**Variaciones regionales:** los criterios seleccionados deben ser adaptados al contexto local.

**Panel de expertos:** el desarrollo de herramientas de evaluación requiere la conformación de un equipo interdisciplinario.

**Encuestas:** verificación, a partir de encuestas a distintos autores que intervienen en la construcción del hábitat, de la importancia relativa de los criterios adoptados para la construcción de la matriz de datos.

**Ponderación:** el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) es la metodología de toma de decisiones de mayor pertinencia para la determinación de los pesos de los distintos criterios evaluados por la herramienta.



Figura 2. Etapas para el desarrollo de MEAs contextualizadas.  
 Fuente: Elaboración de los autores con base en datos de Alyami y Rezgui (2012).

Nuevo método de evaluación: Como resultado de los pasos antedichos, se obtiene una nueva herramienta de evaluación que da respuesta a las condiciones del lugar en que va a ser aplicado. En esta instancia el proceso debe revisarse a efectos de detectar posibles ajustes en la información.

A continuación, la Figura 2 expone gráficamente las etapas antes mencionadas.

Conforme al marco operativo antes mencionado, Kim et al. (2005) desarrolla un software para la evaluación del desempeño de edificios residenciales en Corea. En líneas generales, esta MEA contextualizada estructura la información conforme a tres áreas fundamentales: ambiente, función y confort. El principal objetivo de este instrumento es el de constituir una herramienta para la toma de decisión que introduzca el concepto de “desempeño” como variable de análisis para la comparación entre inmuebles.

Análogamente, sobre la base de investigaciones científicas, conocimiento técnico y la participación y experiencia de múltiples actores del proceso constructivo, Ali y Al Nsairat (2009) diseña SABA, una MEA regionalizada a las condiciones ambientales, sociales y económicas de Jordania. La estructura de datos de esta metodología se conforma a partir de la consideración de siete categorías: eficiencia energética, eficiencia en el uso del agua, de materiales y de recursos, calidad del ambiente interior y economía. Estas categorías involucran 42 indicadores, los cuales se desagregan en 157 criterios. Al respecto, se destaca que las categorías,



| Norma             | Características generales   |
|-------------------|---|
| IRAM 11601 (2002) | Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.  |
| IRAM 11603 (2012) | Establece la zonificación de la República Argentina de acuerdo con un criterio bioambiental, según el cual se indica las características climáticas de cada zona. Define las siguientes zonas: ZONA I: MUY CÁLIDA; ZONA II: CÁLIDA; ZONA III: TEMPLADA CÁLIDA; ZONA IV: TEMPLADA FRÍA; ZONA V: FRÍA; ZONA VI: MUY FRÍA. |
| IRAM 11604 (2001) | Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdida de calor. Cálculo y valores límites.  |
| IRAM 11605 (1996) | Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.   |
| IRAM 11625 (2000) | Establecer las condiciones y procedimientos para la verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de los muros exteriores, pisos y techos de edificios en general.   |
| IRAM 11630 (2000) | Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general.  |
| IRAM (2004)       | 11659-1 Establece el vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración, utilizada en los métodos de cálculo para el ahorro de energía en refrigeración.   |
| IRAM (2007)       | 11659-2 Establece los valores admisibles de $G_R$ ( $W/m^3$ ) para edificios tipo bloque.   |

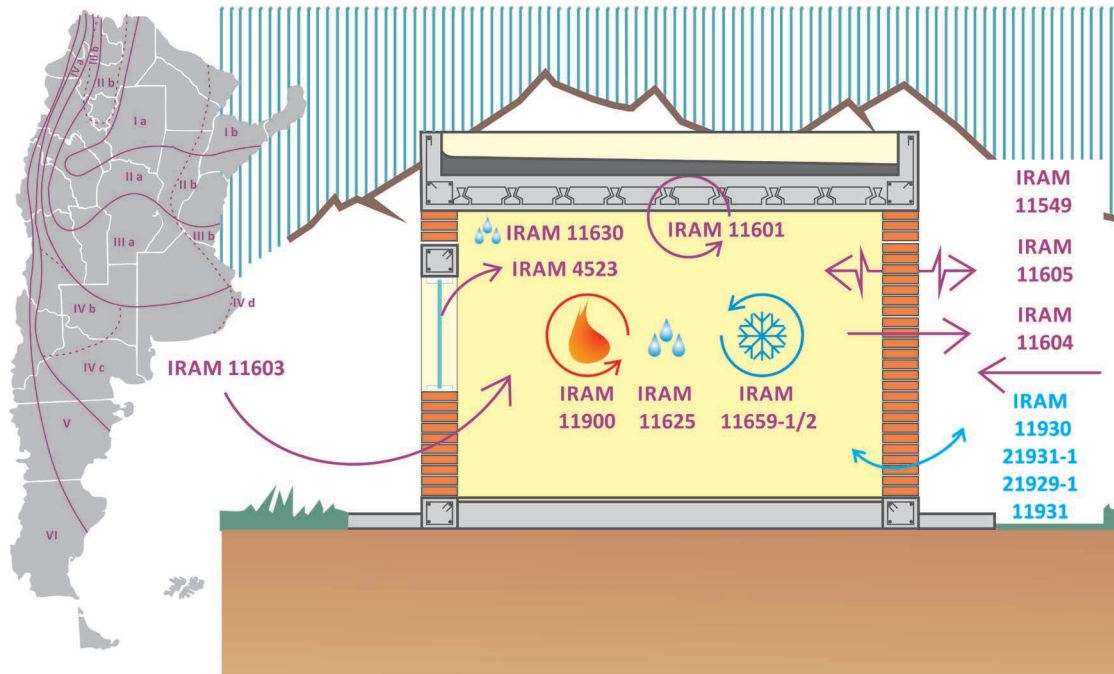
Tabla 2. Síntesis Serie 11600 IRAM. Fuente: Elaboración de los autores con base en datos de IRAM.

| Norma                     | Características generales   |
|---------------------------|---|
| IRAM 11523 (2001)         | Carpintería de obra. Método de determinación de la infiltración de aire a través de cerramientos exteriores.  |
| IRAM 11549 (2002)         | Establecer las definiciones de las magnitudes físicas y sus correspondientes símbolos y unidades, y de otros términos utilizados en el aislamiento térmico de edificios.                              |
| IRAM 11900 (2010)         | Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.   |
| IRAM 21929-2 (en estudio) | Construcción sostenible. Indicadores de sostenibilidad. Parte 2: Marco para el desarrollo de indicadores para obras de ingeniería civil.  |
| Otras                     | IRAM 11507-1. Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Requisitos básicos y clasificación.<br>IRAM 11507-4. Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Requisitos complementarios. Aislación térmica. |

Tabla 3. Otras normativas IRAM en relación con la eficiencia energética. Fuente: Elaboración de los autores con base en datos de IRAM.

| IRAM en el marco de la sustentabilidad |  |   |   |  |
|--|--|---|---|--|
|  | 11930/10   | 21931-1/12  | 21929-1/14  | 11931/16   |
| Objetivo                               | Identificar y establecer principios generales para la sustentabilidad en la construcción de edificios y otras obras de construcción.   | Determinar un marco general para mejorar la calidad y comparabilidad de los métodos de desempeño ambiental de edificios y sus obras externas relacionadas.  | Establecer indicadores <sup>1</sup> orientados a evaluar el desempeño de edificios nuevos o existentes, relativos a su diseño, construcción, operación y mantenimiento.   | Proveer una guía para la aplicación de los 9 principios generales de la sustentabilidad (IRAM 11930) en edificios y obras de ingeniería civil. |
| Alcances                               | Materiales, productos, servicios o procesos relacionados con el ciclo de vida de los edificios y de otras obras de construcción (individual o colectiva).  | El edificio y las obras externas en su predio (delimitación catastral).   | Edificio, grupo de edificios y trabajos externos dentro del predio.   | Los edificios y obras de ingeniería civil.   |
| Contenidos                             | Definiciones.<br>9 principios de sustentabilidad.  | Definiciones.<br>Principios para la evaluación ambiental de edificios.<br>Requisitos mínimos y recomendaciones para el desarrollo e implementación de los métodos para la evaluación del desempeño ambiental edilicia.<br>Documentación.<br>Aspectos e impactos ambientales.<br>Análisis del ciclo de vida. | Marco para el desarrollo de indicadores de sustentabilidad para evaluar impactos económicos, ambientales y sociales de edificios.<br>Aspectos a considerar para definir un conjunto de indicadores de sustentabilidad.<br>Establece, describe y reglamenta un conjunto fundamental de indicadores de sustentabilidad. | Definiciones.<br>Marco de trabajo.<br>Enfoque metodológico.<br>10 objetivos de la sustentabilidad.   |
| Límites                                | No proporciona una base para hacer declaraciones de sustentabilidad ni para evaluar a organizaciones u otras partes involucradas.  | Excluye los métodos de evaluación de desempeño social-económico.  | No proporciona lineamientos para la ponderación de indicadores o la sumatoria de resultados de evaluaciones.  | Se limita a ser una guía de aplicación.  |
| Observaciones                          | Promueve el desarrollo sustentable de la edificación.<br>Requiere de la interpretación y consideración de áreas de interés tales como: el valor de los activos, la biodiversidad, el patrimonio cultural, los recursos, la salud y el confort humanos y la infraestructura social. | Marco de referencia y Trabajo.<br>Apunta al ciclo de vida   | Establece áreas de protección <sup>2</sup> , aspectos e indicadores fundamentales.  | Promueve la generación de procesos de mejora continua.   |

Tabla 4. IRAM y la sustentabilidad. Fuente: Elaboración de los autores con base en datos de IRAM.



Figuras 3. Representación gráfica normativa IRAM. Fuente: Elaboración de los autores con base en datos de IRAM.

indicadores y criterios considerados en la valoración dependen de la importancia relativa que dicho conjunto posea en el contexto local.

## BASES PARA LA CONTEXTUALIZACIÓN DE UNA MEA EN ARGENTINA.

Argentina cuenta con un completo y exigente marco regulatorio ambiental, tanto a nivel nacional como provincial, que es escasamente aplicado y respetado (Sistema de las Naciones Unidas en la Argentina, 2003). En tal contexto, los avances más importantes en lo cuanto a la sustentabilidad en el ámbito de la construcción han sido desarrollados por IRAM. Este organismo es el encargado de emitir cánones relativos a la aislación de los edificios, o bien, a las propiedades térmicas de los materiales, así como también la definición de principios, marcos y guías, a efectos de normar los enfoques metodológicos que pudieran surgir en términos de sustentabilidad en edificios y obras de ingeniería civil en general. Así, en primera instancia desarrolla la Serie 11600, en relación con el confort higrotérmico en la edificación; los contenidos de dicha normativa se sintetizan en la Tabla 2, en tanto se muestran gráficamente en la Figura 3. Asimismo, la Tabla 3 muestra otras normativas concernientes a eficiencia energética edilicia.

En lo que se refiere a la sustentabilidad en la construcción, se observa que las normas IRAM 11930/10; 21931-1/12; 21929-1/14 y 11931/16, al definir principios y marcos para el desarrollo de indicadores de sustentabilidad edilicia, constituyen la base para la contextualización de aquellas MEAs susceptibles de ser regionalizadas. En base a ello, en la Tabla 4 se individualizan los alcances de dichas normativas.

## RESULTADOS.

Del análisis precedente se desprende que, entre los principios de la sustentabilidad expuestos en la IRAM 11930/10, los objetivos establecidos en la IRAM 11931/16 y los aspectos determinados por la IRAM 21929-1/14, existe un alto grado de incidencia mutua, lo cual se traduce en la consideración conjunta de aspectos ambientales, sociales y económicos. De manera que definir la estructura jerárquica de datos de una matriz contextualizada conforme a dichas normativas constituye una mirada integral de la sustentabilidad.

Las normas citadas apuntan tanto al edificio como a las obras de ingeniería en general, con enfoques orientados tanto al producto como al proceso. En relación con el alcance con que son analizadas dichas obras, se observa que la normativa comprende el entorno inmediato a la construcción.

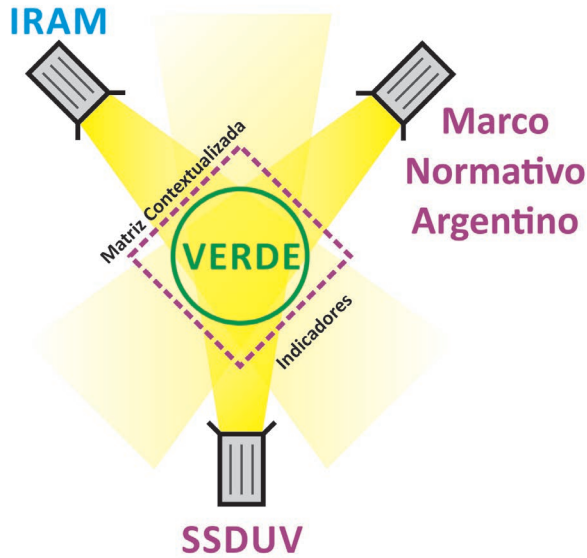


Figura 4a. Lámparas: Marcos legal y operativo de la matriz de datos contextualizada. Fuente: Elaboración de los autores.

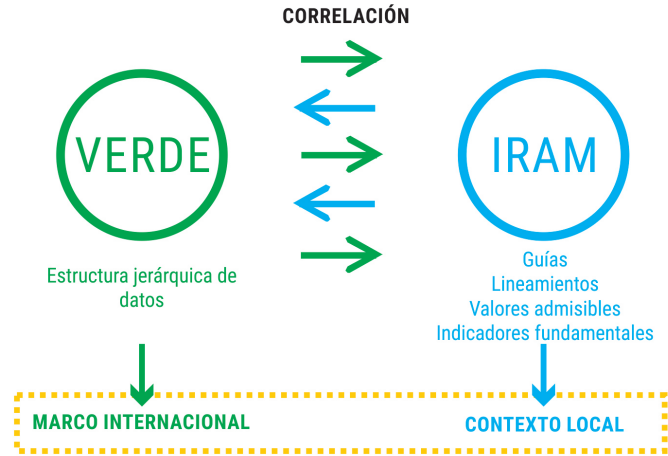


Figura 4b. Marco para la contextualización de VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G. Fuente: Elaboración de los autores.

| Visión VERDE                   |                            | Visión IRAM - SSDUV |                   |                   |                |                     |                       |            |  | % de contextualización | Observaciones                         |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------------|-----------------------|------------|--|------------------------|---------------------------------------|
| Categorías                     | N° de criterios            | Áreas de Protección |                   |                   |                |                     |                       |            |  |                        |                                       |
|                                |                            | Recursos naturales  | Capital económico | Salud y bienestar | Equidad social | Patrimonio cultural | Prosperidad económica | Ecosistema |  |                        |                                       |
| Parcela y emplazamiento        | 4                          | 2                   |                   |                   | 2              |                     |                       |            |  | 100                    |                                       |
| Recursos naturales             | 9                          | 8                   |                   |                   |                |                     |                       |            |  | 89                     | Eco-etiquetado                        |
| Energía y atmósfera            | 5                          | 3                   |                   |                   |                |                     |                       | 1          |  | 80                     | Energía no renovable en el transporte |
| Calidad del ambiente interior  | 4                          |                     |                   | 4                 |                |                     |                       |            |  | 100                    |                                       |
| Aspectos sociales y económicos | 1                          |                     |                   | 1                 |                |                     |                       |            |  | 100                    |                                       |
| % de representatividad         | 100                        | 56.52               | 0.00              | 21.74             | 8.70           | 0.00                | 0.00                  | 4.35       |  | ---                    | ---                                   |
| Total de criterios             | 23                         |                     |                   |                   | 21             |                     |                       |            |  | 91.30                  | ---                                   |
| Innovación                     | NO INCLUIDO EN EL ANÁLISIS |                     |                   |                   |                |                     |                       |            |  |                        |                                       |

Tabla 5. Contextualización de la metodología base. Fuente: Elaboración de los autores.



En líneas generales, abordan todas las etapas del proceso, al tiempo que involucran la participación tanto del cliente como del proyectista, el contratista y el operador. En cuanto al ciclo de vida, las normas analizadas hacen hincapié en las etapas de construcción y uso (IRAM 21931-1/12). Es decir que IRAM apunta su accionar a la causa y no al efecto. Por tanto, aborda aspectos e impactos ambientales globales y locales.

Adicionalmente, la IRAM 21929-1/14, establece claramente qué aspectos corresponden a cada área de protección. En ese sentido, se destaca que cada aspecto tiene influencia primaria sobre una y solo una de las áreas de protección. Por consiguiente, de dicha norma puede extraerse el esqueleto principal de una matriz de datos contextualizada. Por otro lado, a partir de los objetivos de la IRAM 11931/16 pueden explicarse todas las áreas de protección de la IRAM 21929-1/14, lo que hace factible el uso de la misma para la determinación de los criterios y medidas correspondientes a cada indicador fundamental, con lo cual se completa la estructura jerárquica de datos de una matriz contextualizada.

Cabe subrayar que la normativa IRAM, si bien representa un importante avance en materia de sustentabilidad en la construcción no constituye una MEA contextualizada a la situación regional de las zonas áridas de Argentina, dado que no proporciona la estructura jerárquica de datos ni establece el sistema de ponderación propio de una metodología de ese tipo. Sin embargo, una mirada integral de dicha normativa favorece el desarrollo de un sistema de indicadores que faciliten, a futuro, la determinación de una matriz de datos contextualizada que sirva de base para la concreción de una MEA regionalizada para zonas áridas de Argentina.

En esta dirección y de acuerdo con el estudio de las MEAs internacionales realizado en esta investigación, se sostiene que la metodología VERDE presenta una serie de particularidades, tales como su claridad metodológica, la capacidad de guiar, o bien, la posibilidad de ser contextualizada que hacen que la misma sobresalga del resto de las MEAs estudiadas. En este contexto, se selecciona, por estar orientada específicamente a la evaluación de la vivienda, la herramienta VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G para ser regionalizada a la situación físico-ambiental, económica y social de Argentina en general y, en particular, de la VSZA.

Para tales efectos, la construcción de matriz de datos contextualizada involucra (Figura 4a):

- La metodología VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G<sup>3</sup>, a fin de acotar el campo del conocimiento.

- La normativa IRAM analizada, con el objetivo de contextualizar el método de referencia.
- Lo establecido por la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Nación (SSDUV), en lo que respecta a estándares mínimos de calidad (2006) para regionalizar el análisis en relación con la VS unifamiliar urbana.

De esta forma, la estructura jerárquica de datos de la matriz surge como resultado de la determinación de variables, criterios e indicadores simples, comparables internacionalmente y formulados en respuesta a las particularidades inherentes a climas áridos (Figura 4b). Por último, la Tabla 5 expone el alto porcentaje de contextualización a obtener como resultado de correlacionar las categorías de la metodología VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G y la normativa IRAM puntualizada en el presente artículo.

## CONCLUSIÓN

A partir de la caracterización y diagnóstico de los distintos sistemas de evaluación ambiental existentes, se identifican las características, estructura de datos y tendencias preponderantes de los mismos. Adicionalmente, el estudio permite pormenorizar cuatro de ellos (BREEAM, LEED, CASBEE y VERDE), los cuales se destacan por su metodología y trayectoria, como así también por abordar en específico la tipología vivienda.

Asimismo, se detectan las variables de análisis que determinan el carácter de la información contenida en estas herramientas, como también sus principales críticas, las que se relacionan directamente con la búsqueda de un mayor grado de estandarización, usabilidad y simpleza que facilite la contextualización al tiempo que disminuya la relatividad de sus sistemas de ponderación. Desde este punto de vista, evolucionar del paradigma del rendimiento al de la arquitectura integrada, supone que los mismos se desarrollen conforme a una mirada holística de la sustentabilidad.

Por ello, la búsqueda de una metodología de evaluación ambiental edilicia que sea contextualizable al caso de la VSZA debe aprehender integralmente el concepto de sustentabilidad, de modo que el énfasis esté puesto tanto en la dimensión ambiental de la arquitectura como en la social y económica. Esto resulta de primordial importancia para el caso de sistemas de evaluación cuyo límite espacial se corresponde con el de países en vías de desarrollo, dado que la realidad ambiental, social y económica de los mismos difiere de la de los países del primer mundo.

[3] VERDE - Vivienda unifamiliar, nueva edificación – Versión febrero de 2015.

En este marco, pensar en el mejoramiento de esta la VSZA, desde una perspectiva centrada en la sustentabilidad, involucra entender que el usuario y su comportamiento influyen en el mayor o menor consumo energético de la misma; así como, que las características proyectuales y constructivas son determinantes de su confort higrotérmico.

Sobre la base de lo antedicho, se concluye que la herramienta de evaluación ambiental VERDE, desarrollada en el marco del GBCe, posee características que permiten su regionalización a la situación ambiental, social y económica de la VS unifamiliar urbana de zonas áridas en Argentina. En consecuencia, su aplicación para el desarrollo de una matriz de datos contextualizada, que permita la construcción de indicadores compuestos de calidad orientados al mejoramiento integrado de dichas viviendas, resulta altamente viable. En efecto, el uso de la metodología VERDE permite obtener resultados comparables a nivel internacional que surgen en respuesta al cumplimiento normativo local. Así, de la correlación entre VERDE NE UNIFAMILIAR V1.G y la normativa IRAM relativa a la sustentabilidad en la edificación, el confort higrotérmico y la calidad edilicia, surgirá, en definitiva, la matriz de datos contextualizada a las particularidades de la VS en ambientes áridos, antes mencionada.

## FUTURAS INVESTIGACIONES

Los resultados alcanzados requieren ampliar la investigación con miras a incluir, en lo sucesivo, el análisis de sistemas de calificación edilicia desarrollados en Latinoamérica, tales como la Calificación Energética de Viviendas (CEV) y Certificación Edificio Sustentable (CES).

## AGRADECIMIENTOS

Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental (INEAA) – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).  
Instituto de Mecánica Aplicada (IMA) – Facultad de Ingeniería – UNSJ.  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Hikmat y AL NSAIRAT, Saba. Developing a green building assessment tool for developing countries - Case of Jordan. *Building and Environment*, 2009, vol. 44, n° 5, pp.1053-1064.

ALYAMI, Saleh y REZGUI, Yacine. Sustainable building assessment tool development approach. *Sustainable Cities and Society*, 2012, n°5, pp. 52-62.

BAUMANN, Henrikke y COWELL, Sarah. An Evaluative Framework for Conceptual and Analytical Approaches Used in Environmental Management. *Greener Management International*, 1999, vol. 26, pp. 109-122.

COLE, Raymond. Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles. *Building Research & Information*, 2007, vol. 33, n°5, pp. 455-467.

IRAM - serie 11600. *Acondicionamiento térmico de edificios*. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina.

IRAM 11930. *Construcción sustentable - principios generales*. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina, 2010.

IRAM 21931-1. *Construcción sustentable - marco de referencia para los métodos de evaluación del desempeño ambiental de las obras de construcción*. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina, 2012.

IRAM 21929-1. *Construcción sustentable - indicadores de sustentabilidad - Parte 1: marco para el desarrollo de indicadores y un conjunto fundamental de indicadores para edificios*. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina, 2014.

IRAM 11931. *Construcción sustentable – sustentabilidad en edificios y obras de ingeniería civil – guía de aplicación de los principios generales de la IRAM 11930/10*. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina, 2016.

KIM, Sun-Sook; YANG, In-Ho; YEO, Myoung-Souk y KIM, Kwang-Woo. D. Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. *Building and Environment*, 2005, vol. 40, n°8, pp. 1103-1116.

MITCHELL, Jorge Alberto. Consumo de energía para calefacción en el hábitat social de Mendoza: un caso de estudio. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2005, vol. 9, pp. 07.07-07.12.

MONTEROTTI, Chiara. *Análisis y propuesta sobre la contribución de las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios a su eficiencia ambiental*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya Departamento de Construcciones Arquitectónicas I. Ámbitos de Investigación sobre la energía y el medio ambiente en la arquitectura. España, 2013.

MORENO CROSSLEY, Juan Cristóbal. Déficit habitacional en América Latina y el Caribe: Una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas en vivienda y hábitat. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-HABITAT). Kenia: ONU-HABITAT, 2015.

QUEZADA MOLINA, Felipe. Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales. *Hábitat Sustentable*, 2014, vol. 4, n°1, pp. 56-67.

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE.  
Manual sobre Desertificación. *Dirección de Conservación del Suelo y Lucha contra la Desertificación* [en línea], 2005. [Consultado 29 junio 2015]. Disponible en: [www.medioambiente.gov.ar](http://www.medioambiente.gov.ar).

SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS EN LA ARGENTINA.  
*Objetivos de desarrollo del milenio Argentina - La oportunidad para su reencuentro*. Buenos Aires: Presidencia de la Nación, 2003.

WALLHAGEN, Marita; GLAUMANN, Mauritz; ERIKSSON, Ola y WESTERBERG, Ulla. Framework for detailed comparison of building environmental assessment tools. *Buildings*, 2013, vol. 3, n°1, pp. 39-60.





# EFECTO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO BIOCLIMÁTICO. ANÁLISIS Y ESTUDIO MEDIANTE ENERGY PLUS

## EFFECT OF NATURAL VENTILATION ON THE ENERGY CONSUMPTION OF A BIOCLIMATIC BUILDING. ANALYSIS AND STUDY THROUGH ENERGY PLUS

MARÍA VICTORIA MERCADO

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
(CONICET). Mendoza, Argentina  
mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

GUSTAVO BAREA PACI

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
(CONICET). Mendoza, Argentina  
gbarea@mendoza-conicet.gob.ar

ALFREDO ESTEVES

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
(CONICET). Mendoza, Argentina  
aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

CELINA FILIPPÍN

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
(CONICET). Santa Rosa, Argentina  
cfilippin@cpenet.com.ar

### RESUMEN

El enfriamiento pasivo a través de la ventilación natural presenta un gran potencial para viviendas unifamiliares en climas templados continentales como lo es el de la ciudad de Mendoza, ubicada al centro oeste de la República Argentina. Esta estrategia persigue evitar riesgos de sobrecalentamiento y reducir la necesidad de uso de los equipos mecánicos. El objetivo del estudio expuesto es evaluar la influencia de la ventilación natural diurna y nocturna en el consumo de energía en condiciones reales de uso de una vivienda con construcción tradicional y construcción industrializada. Para ello, se usó un modelo computacional de una vivienda unifamiliar, modelada y ajustada en el programa Energy Plus v8.6. Y, para el modelado de la ventilación natural, se utilizó "Airflow Network" (algoritmo AIRNET), validado por Gu (2007) y Crawley *et al.* (2001). Los resultados indican que, tanto en la construcción másica como en la liviana, con ventilación nocturna, los consumos energéticos son menores en 50% que ventilando de día. La ventilación natural en edificios bioclimáticos resulta una estrategia indispensable para el enfriamiento del mismo. En esta situación radica la importancia de contar con una herramienta de simulación para el ensayo de diferentes modos de uso y control de la misma.

### Palabras clave

ventilación natural, simulación computacional, desempeño energético.

### ABSTRACT

Passive cooling through natural ventilation has a great potential for single-family homes and temperate continents such as the city of Mendoza, located in the central west of the Argentine Republic. This strategy seeks to end the risks of overheating and reduces the energy consumption of mechanical conditioning equipment. This study aims to evaluate the influence on energy consumption, in two ventilation scenarios (day and night) for two constructive resolutions (light and mass). For this, a computational model of a single-family house, modeled and adjusted in the Energy Plus v8.6 program was used. For the ventilation model, "Airflow Network" (AIRNET algorithm) validated by Gu (2007) y Crawley *et al.* (2001) was used. The results indicate that, in the construction as well as in life, with night ventilation the energy consumptions are lower in 50% than they ventilate during the day. The natural ventilation in bioclimatic buildings is an indispensable strategy for the cooling of the same. In this situation lies the importance of having a simulation tool to test different scenarios of use and control of the same.

### Keywords

natural ventilation, computer simulation, energy performance.

## INTRODUCCIÓN

El comportamiento de los usuarios tiene un impacto potencial sobre el rendimiento de los edificios, dadas sus interacciones con los sistemas de iluminación, ventilación, climatización, manejo de ventanas y dispositivos de sombreados (Brager y Baker, 2009; Corgnati *et al.*, 2011; Hoes *et al.*, 2009; Yun y Stemeers, 2008). Filippín *et al.* (2005) afirmaron, en ese sentido, que es importante el entendimiento de las interacciones de los ocupantes en su ambiente interior ya que afectarán directamente el uso de energía en la misma medida que los parámetros mecánicos.

En efecto, las interacciones del usuario con el funcionamiento de las ventanas son importantes para lograr condiciones de confort térmico aceptables para aquellos edificios en los que se han considerado en su diseño estrategias pasivas, tales como ventilación natural (Fabi *et al.*, 2012; Liping y Hein, 2007). Nicol (2001) advierte que si una persona se encuentra en disconfort tomará medidas para restablecer su comodidad, lo que denomina como el *enfoque adaptativo*. En otro trabajo, Nicol y Humphreys (2002) señalan que ante la incomodidad de los usuarios de un edificio, estos pueden abrir las ventanas en función de dos razones: mejorar la calidad del aire o mejorar el confort reduciendo la temperatura y propiciando el movimiento del aire; siendo numerosos los autores que han desarrollado sus trabajos en ambas líneas (Hoes *et al.*, 2009; Corgnati *et al.*, 2011; Iwashita y Aksaska, 1997). La presente investigación ahonda en la última de ellas.

Diversos investigadores han indagado y avanzado en esa dirección. Raya *et al.* (2001), por ejemplo, estudiaron al usuario en relación a la manipulación de las aberturas en 15 edificios de oficinas, durante un período de verano. El estudio se centró en el análisis de la relación de las aberturas con las temperaturas interiores, exteriores y el confort térmico. Se encontró que la proporción de ventanas abiertas aumenta con un aumento de la temperatura interior y exterior. Sólo unas pocas ventanas están abiertas cuando la temperatura exterior es inferior a 15°C, mientras que la mayoría de las ventanas están abiertas cuando la temperatura excede los 25°C. La incidencia de malestar del usuario está fuertemente relacionada con el uso de las ventanas, lo que sugiere que este control se utiliza en respuesta a la incomodidad. Los ocupantes que se sientan cerca de una ventana y que tienen un mayor acceso a controlarla reportan menos molestias que los más alejados a ellas.

Ebel *et al.*, (2003) llevan a cabo un seguimiento del comportamiento de los usuarios de edificios residenciales pasivos (con un consumo de energía <15 kWh /m<sup>2</sup>) durante todo un año. Se midió, en esta investigación, el número de horas que una ventana estaba abierta durante el día de verano. A partir de febrero, las ventanas se mantuvieron abiertas durante más tiempo que durante invierno, lo que sugiere que los ocupantes comienzan a cambiar su comportamiento al final de la temporada de calefacción.

Seguido por la radiación solar, la temperatura exterior tiene el efecto más fuerte sobre el uso de ventanas. A partir de 8°C, la cantidad de horas de apertura de las ventanas aumenta aritméticamente hasta que se alcanza un máximo de 18°C.

Lambert *et al.* (2016) evaluaron diferentes escenarios de comportamiento de los ocupantes en relación a la ventilación natural, la masa térmica y el consumo de energía en un clima subtropical. Llegaron a la conclusión que los casos con baja transmitancia térmica y capacidad térmica media mostraron una reducción en el consumo de energía para la refrigeración del 32%, ventilando en la mañana (343,6 kWh/mes); de un 66%, ventilando automáticamente con sensores predeterminados (33,19 kWh/mes), y de un 43%, ventilando de noche los espacios (62,88 kWh/mes). Por lo tanto, en este clima en particular, los edificios con capacidad térmica media tienen un mayor potencial para proporcionar confort térmico a los usuarios, con un control adecuado de la ventilación del edificio. Para climas mediterráneos, se ha demostrado la importancia de alta masa térmica de la envolvente del edificio en la eficacia de la ventilación nocturna. Es factible disminuir la temperatura máxima del aire de 3 a 6°C (Haldi y Robinson, 2009; Michael, Demosthenous y Philokyprou, 2017; Shaviv, Yezioro y Capeluto, 2001).

Los resultados de los estudios antes mencionados no pueden ser aplicados a cualquier edificio, se debe tener en cuenta variables que juegan un papel importante como: el clima, la cultura, la estructura del edificio, la tipología del espacio (residencial, comercial o edificio de oficinas), entre otras. En relación al clima la ventilación diurna, es más apropiada para climas templados, donde la temperatura del aire y la humedad del ambiente externo caen dentro de los límites de confort. Por el contrario, la ventilación nocturna es preferible para el enfriamiento en regiones donde la temperatura del aire exterior nocturno es de alrededor de 20°C y la fluctuación de la temperatura diurna es de más de 10°C (Givoni, 1998). La potencialidad de utilizar la ventilación natural en la ciudad de Mendoza es alta, considerando que la situación climática se puede caracterizar como mediterránea (cálido árido). Chen, Tonga y Malkawia (2017) han calculado "la hora NV" para 1854 ciudades del mundo. Las horas NV son el número de horas en un año típico (de 8760 h) cuando las condiciones climáticas exteriores (por ejemplo, velocidad del viento, temperatura, humedad) son adecuadas para utilizar la ventilación natural. Entre las ciudades evaluadas, se encuentran Buenos Aires y Santiago de Chile (4514 y 4297, respectivamente), presentando potencialidades similares en cuanto a la cantidad de horas NV. Sin embargo, al sumarse las horas NO NV (no aptas para ventilación natural por alto nivel de humedad relativa), las horas de Buenos Aires son más altas que las de Santiago, en una relación de 3 a 1. Por cierto, la ciudad de Mendoza se asemeja más a las condiciones climáticas de Santiago que a las de Buenos Aires.

Las herramientas computacionales de simulación térmica y energética son instrumentos importantes para la comprobación y análisis de los edificios en términos de su comportamiento tanto energético como térmico, acústico y de iluminación, por nombrar algunos. Para una definición de un modelo computacional confiable, que represente bien el comportamiento térmico y energético de determinado edificio de estudio, es esencial que este modelo esté correctamente calibrado (Chen, Tonga y Malkawia, 2017). En ese contexto, uno de los programas más confiables es EnergyPlus, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, el cual se utilizó en este trabajo (DOE, 2016).

El objetivo de este estudio es evaluar la influencia del comportamiento de los usuarios al ventilar sus viviendas en relación al consumo energético. Se realiza en dos situaciones de aperturas de ventanas (diurna y nocturna) y para dos composiciones de envolvente (tradicional e industrializada). La envolvente tradicional supone mayor cantidad de masa y capacidad térmica que un sistema de tipo industrializado. En la actualidad, el desarrollo de nuevos materiales y técnicas constructivas han propiciado el auge de la construcción modular "industrializada" con tecnología de avanzada. Según el arquitecto Roper (Roper y Comas, 2013), este tipo de construcción involucra una respuesta a la demanda cada día más exigente acerca de precios, plazos de ejecución, entrega y bajo impacto ambiental en el proceso de construcción y sostenibilidad.

## METODOLOGÍA

### CASO DE ESTUDIO

El Gran Mendoza es el conglomerado urbano más importante de la provincia de nombre homónimo, alberga el 64% de la población y ocupa el 11% del territorio mendocino. Se ubica en latitud 32° 52'S y longitud 68° 51'O, en centro oeste de la República Argentina (Figura 1).

El caso de estudio se encuentra emplazado en un barrio de baja densidad en la periferia Mendoza. Se trata de una vivienda aislada en lote individual, es decir, no comparte medianera con construcciones vecinas. El edificio es compacto y distribuido en dos plantas. En planta baja se hallan los espacios de uso diurno y en planta alta, las habitaciones y el baño. Se trabajó sobre esta tipología por ser representativa de gran parte del parque habitacional construido en los últimos años en la ciudad de Mendoza. La vivienda tiene una superficie cubierta de 120m<sup>2</sup> (Figura 2).

### MODELO DE SIMULACIÓN.

Para el presente estudio se simuló la vivienda en estado dinámico con el software Energy Plus (version 8.5-DOE, 2016). Se trata de un software libre desarrollado por LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory). Este programa

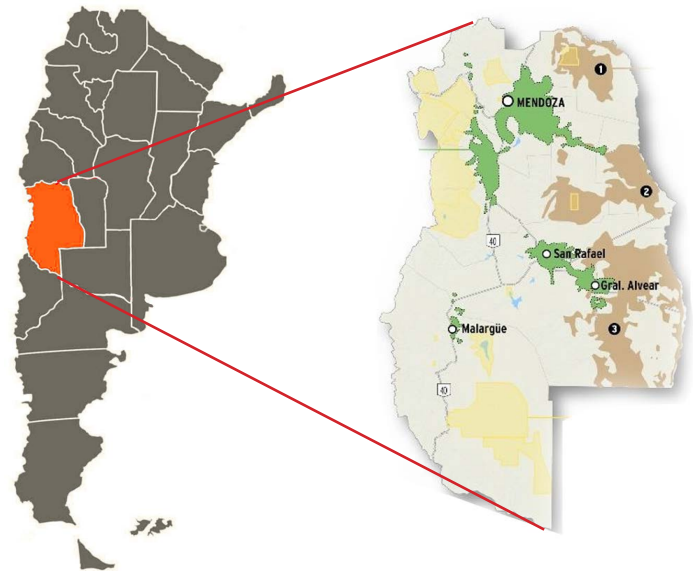


Figura 1. Situación geográfica de la ciudad de Mendoza.  
Fuente: Elaboración de los autores.

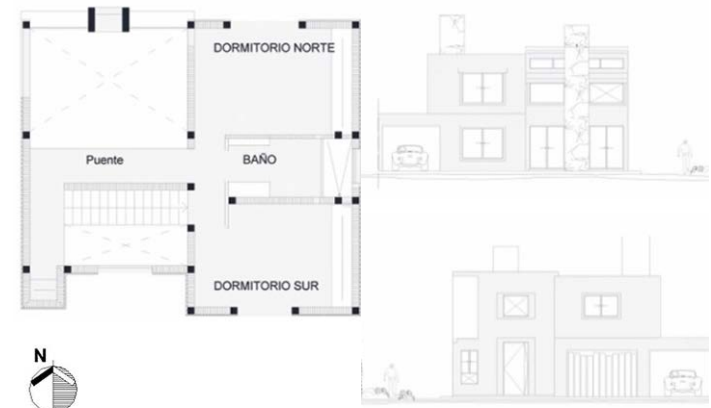
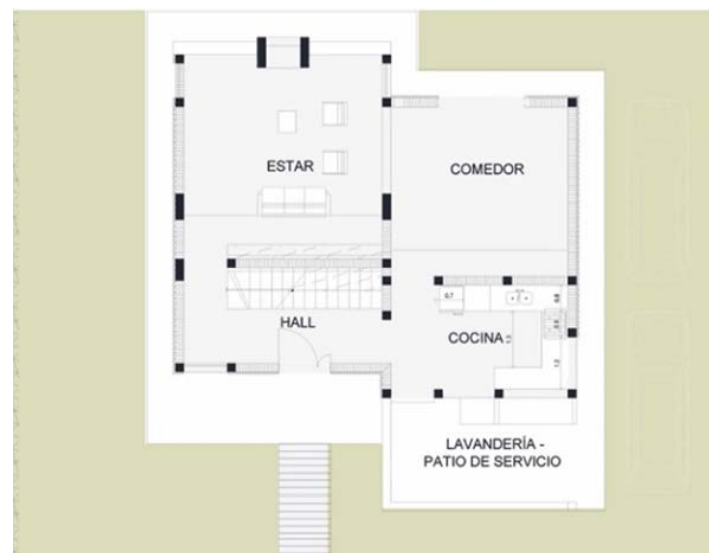


Figura 2. Plantas y vistas de la fachada norte y sur del caso de estudio.  
Fuente: Elaboración de los autores.

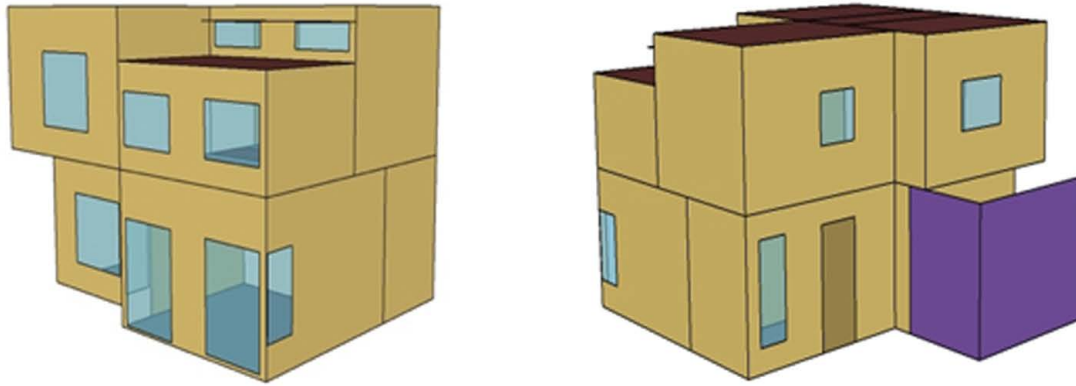


Figura 3. Modelo 3D en Legacy Open Studio. Fuente: Elaboración de los autores

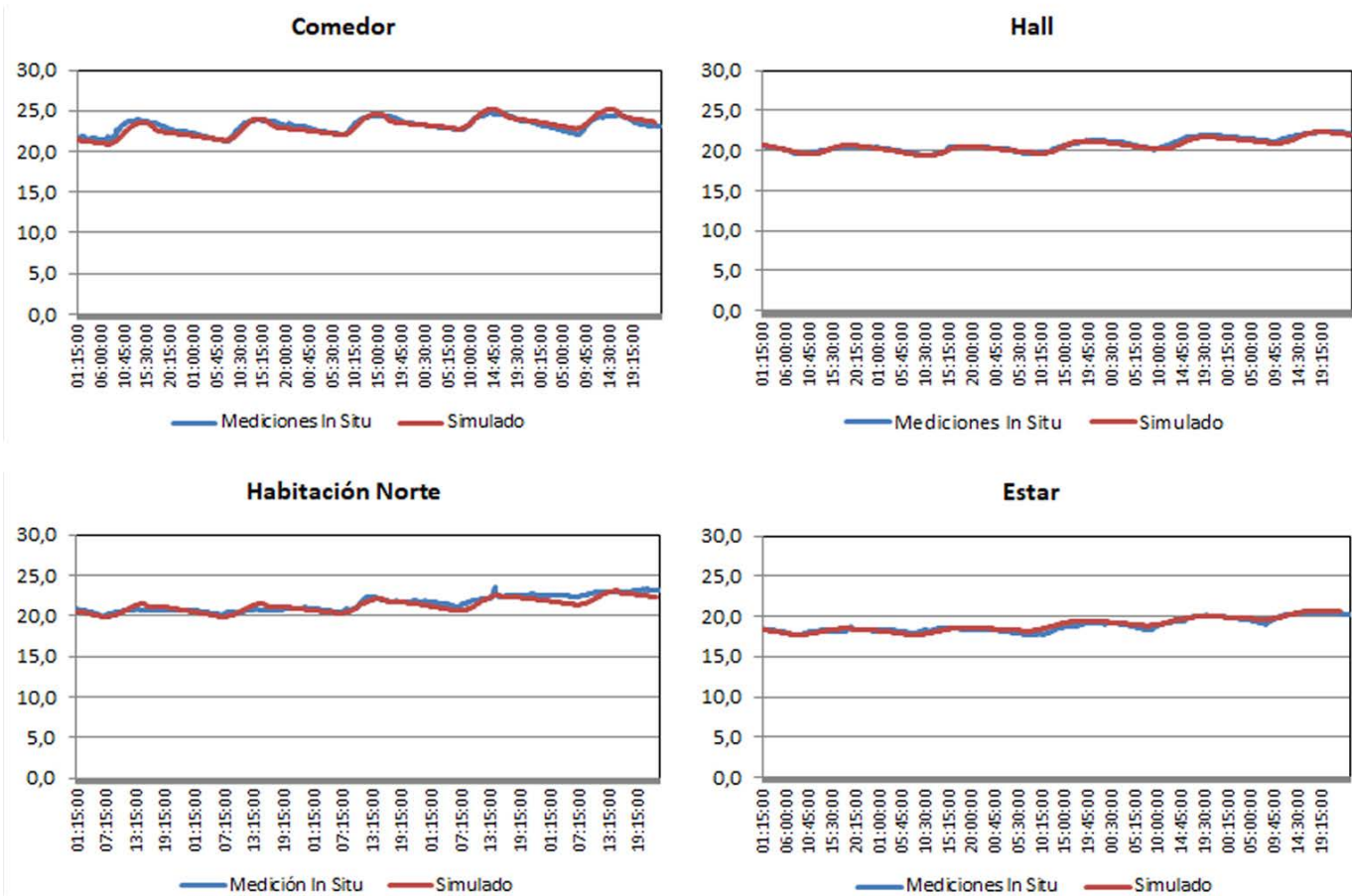


Figura 4. Curvas de ajuste del modelo en Energy Plus con datos monitoreados *in situ*. Fuente: Mercado, Barea y Esteves, 2015: 05.155.



|            | Paredes |          |            | Techos |          |            |
|------------|---------|----------|------------|--------|----------|------------|
|            | U       | $\alpha$ | $\epsilon$ | U      | $\alpha$ | $\epsilon$ |
| 1. Másico  | 0.6     | 0.3      | 0.7        | 0.38   | 0.1      | 0.9        |
| 2. Liviano | 0.7     | 0.3      | 0.7        | 0.28   | 0.1      | 0.9        |

Tabla 1. Propiedades de la envolvente utilizadas en las simulaciones, transmitancia térmica (U), absorptividad solar ( $\alpha$ ) y emisividad ( $\epsilon$ ).  
 Fuente: Elaboración de los autores.

ofrece la posibilidad de obtener variables de salida, como ambientales, térmicas, energéticas y físicas.

Las determinaciones generales contempladas para la simulación térmica y energética de la vivienda fueron:

- Se dividió la vivienda en 9 zonas térmicas: 4 en planta baja (*hall* abajo, cocina, comedor y estar) y 5 en primer piso (*hall* arriba, estar arriba, habitación norte, habitación sur y baño).

-En relación a los coeficientes convectivos, para muros interiores se fijaron en  $6\text{W/mK}$ , mientras que para el resto de los elementos, se tomaron los calculados por el programa por medio de algoritmos matemáticos.

- Las renovaciones de aire se consideraron constantes de un cambio de aire por hora y se estableció para todas las zonas térmicas conectadas al exterior a través de ventanas y/o puertas.

- Dado que las temperaturas de aire interior que calcula el programa representan la uniformidad térmica de toda la habitación, en el caso del local de *hall* de doble altura se dividió en dos zonas térmicas: una inferior, correspondiente a planta baja, y una superior, correspondiente a planta alta. Para esto se utilizó la herramienta *Material: Infrared Ttransparent*, que posibilita la transmisión de la radiación solar al espacio contiguo por debajo. Además, se empleó la herramienta *Zone Cross Mixing* que permite simular el movimiento de aire entre dos zonas de estas características.

Cabe señalar que la vivienda ha sido utilizada como caso de estudio en un trabajo anterior para el análisis energético (Mercado, Barea y Esteves, 2015). En dicho trabajo se efectuó el ajuste del modelo de simulación a la situación real. En la Figura 4, se presentan las curvas para las principales zonas térmicas, comprendiendo los resultados de temperatura de aire otorgados por la simulación en comparación con los resultados de monitoreo *in-situ*.

#### CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE.

La casa se encuentra construida con sistema constructivo denominado "tradicional" y está compuesta por mampostería de ladrillo cerámico macizo de 17cm de espesor, y estructura independiente sismo-resistente de hormigón armado. Los muros son revocados en ambas caras, con la colocación de aislación térmica (poliestireno expandido) por el exterior

(2" de espesor). La cubierta se construyó con estructura metálica, compuesta por machimbre de pino, poliestireno expandido como aislación térmica (3" de espesor), carpeta de compresión y aislación hidrófuga. Las ventanas son de aluminio, con doble vidrioado hermético (3+9+3). Los muros exteriores quedan totalmente expuestos, separados de los límites del terreno. Se destaca que al muro oeste no se le colocó aislación térmica, debido a una futura ampliación. El FAEP es de 1.5, lo que supone que es un diseño compacto y eficiente desde el punto de vista del diseño de la envolvente (Esteves, Gelardi y Oliva, 1997).

#### ENVOLVENTES SIMULADAS

Sobre el modelo ajustado con las mediciones reales (Mercado, Barea y Esteves, 2015), se simularon dos combinaciones diferentes: La construcción existente (tradicional) y otra construcción con envolvente industrializada.

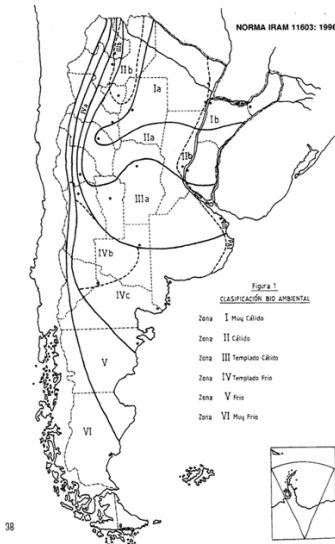
Para la construcción real, con envolvente tradicional descrita anteriormente, se consideró una transmitancia térmica  $U=0.6\text{W/m}^2\text{°C}$  para muros (ladrillo cerámico macizo con aislación térmica y revoques), entepiso y techo un  $U=0.38\text{W/m}^2\text{°C}$  (losa alivianada, asilación de poliestireno expandido de 4", carpeta de compresión y membrana hidroasfáltica).

Para el caso de la construcción industrializada, se tiene cuenta un  $U=0.7\text{W/m}^2\text{°C}$  para muros (estructura metálica, hormigón inyectado sobre malla metálica en interior y exterior y alma de aislación térmica de poliestileno expandido de 0.05m), el entepiso con un  $U=0.17\text{W/m}^2\text{°C}$  (estructura de acero, machimbre de pino de 1") y el techo con un  $U=0.28\text{W/m}^2\text{°C}$  (correas madera, machimbre de pino de 3/8", aislación térmica de 0.10m, carpeta de compresión y membrana hidroasfáltica).

En muros, se consideró una absorción a la radiación solar de 0.3 ( $\alpha$ ), lo que representa un color claro, y la emisividad ( $\epsilon$ ) de 0,7. En techos  $\alpha=0.1$  (terminación de aluminio) y  $\epsilon=0.9$  en techos. La Tabla 1 presenta las propiedades consideradas para muros y techo en la simulación (IRAM 11605, 1996).

#### DATOS CLIMÁTICOS.

La ciudad de Mendoza se encuentra situada en una región cuyo clima se clasifica como templado frío de máxima irradiancia, siendo la zona IV de la clasificación bioambiental de la República Argentina (IRAM 11603). Este clima presenta una alta amplitud térmica, cercana a los 15°C. En enero (verano), se registran las mayores temperaturas cercanas a máximas



| Verano (enero)  |                  |                          |      |
|---|------------------|--------------------------|------|
| Temperatura   | Máxima media     | °C                       | 30.1 |
|   | Media            |                          | 23.6 |
|   | Mínimo media     |                          | 17.9 |
|   | Amplitud térmica |                          | 15.0 |
|   | Máxima absoluta  |                          | 38.0 |
| Velocidad media del viento                                |                  | Km / h                   | 10.5 |
| Humedad relativa media                                    | --               | %                        | 49   |
| Heliofanía relativa                                       | -                |                          | 0.65 |
| Radiación solar global diaria sobre superficie horizontal |                  | MJ / m <sup>2</sup> días | 25.7 |

Figura 5. Zonificación bioclimática Norma IRAM 11603 y datos climáticos. Fuente: Elaboración de los autores.

absolutas de 40°C, la radiación solar es típica de zonas semidesérticas, registrando un valor de 25MJ/m<sup>2</sup> (Figura 5). Para el ajuste del modelo, se utilizaron datos meteorológicos medidos *in situ* (Mercado, Barea y Esteves, 2015). Luego, para el análisis comparativo de casos de estudios, se usó un archivo climático TMY, de acuerdo con metodología validada por otros autores (ASHRAE, 2009; González y Díaz, 2013; Hensen, 1999).

En base a la carta bioclimática se advierte que la ventilación natural aparece como una estrategia de corrección para la ciudad de Mendoza. Las brisas para enfriamiento desde el sureste son frecuentes para la localización en estudio (Figura 6). La vivienda en estudio, en la etapa de diseño, ha considerado la orientación de las aberturas en relación a la dirección y frecuencia de los vientos del lugar, es decir, hacia el Norte y Sur, propiciando así la ventilación cruzada como estrategia de enfriamiento pasivo.

Escenarios de estudio: manejo y control de la ventilación natural por parte de los usuarios.

Los escenarios seleccionados responden al comportamiento del usuario. Se advierten dos situaciones diferenciadas en cuanto al horario en que los usuarios abren las ventanas: por el día (ventilación diurna) y por la noche (ventilación nocturna). Estas rutinas son respuestas comunes, en la región estudiada, que responden a la sensación térmica que perciben los usuarios.

Ventilación diurna: Todas las ventanas se abren desde las 8:00h hasta las 23:00h, los días laborables y los fines de semana. El comportamiento de los usuarios se considera independiente de la temperatura ambiente.

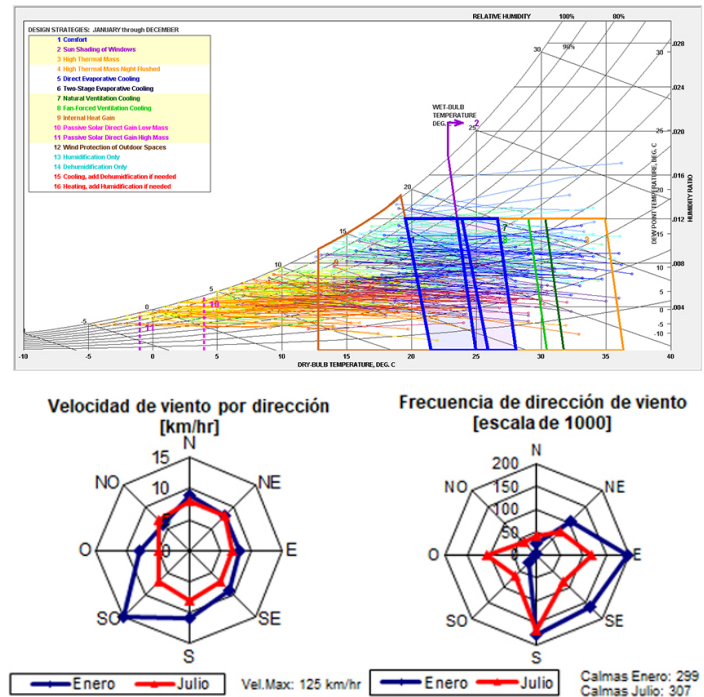


Figura 6. Carta bioclimática (Fuente: programa AnalisisBioLabee) y rosas de los vientos -velocidad y frecuencia- en Mendoza. Fuente: Elaboración de los autores.

Ventilación nocturna: Todas las ventanas se cierran durante la mañana y tarde, y se abren solo por la noche, desde las 21:00h hasta las 9:00h, si la temperatura exterior lo permite.

Requerimiento energético: Para conocer el consumo energético que tendría el edificio para compensar o

|                                 | Paredes            |            | Techos               |            |
|---------------------------------|--------------------|------------|----------------------|------------|
|                                 | Ventilación Diurna |            | Ventilación Nocturna |            |
| Envolvente Tradicional (EM)     | EM-VD              | EM-VD-(Qw) | EM-VN                | EM-VN-(Qw) |
| Envolvente Industrializada (EL) | EL-VD              | EL-VD-(Qw) | EL-VN                | EL-VN-(Qw) |

Siendo:  
 EM: envolvente tradicional, EL: envolvente industrializada,  
 VD: ventilación diurna, VN: ventilación nocturna, Qw: requerimiento energético

Tabla 2. Casos simulados.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

alcanzar la situación de confort térmico, se establece una temperatura de termostato de 24°C. A partir de esto, es posible establecer la cantidad de energía que se requerirá para poder alcanzar esta temperatura por medio de un sistema de acondicionamiento mecánico. Con este propósito, se emplea el descriptor HVAC: Templates que permite pedir como dato de salida la cantidad de energía por el período de simulación de un sistema cualquiera. Esta herramienta del programa no tiene en cuenta intercambio de calor latente y sensible, solo cuantifica la energía para alcanzar la temperatura de termostato.

Considerando la diferenciación en dos tipos de envolvente y los diferentes usos de la ventilación natural, se consolidan cuatro escenarios de simulación. Para cada escenario, se analiza el requerimiento energético con termostato en 24°C.

#### MODELADO DE LA VENTILACIÓN NATURAL.

Para el estudio de la influencia de la ventilación natural en el comportamiento térmico y energético, se utilizó el módulo de cálculo "Airflow Network" (algoritmo AIRNET) del software Energy Plus. Para el control del flujo de aire se usó el objeto Airflow Network: Multi Zone: Component: Detailed Opening donde se debe especificar las propiedades de flujo de aire a través de las ventanas y puertas cuando están cerradas o abiertas.

El coeficiente de flujo de masa de aire cuando la abertura está cerrada (Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed) contempla cuatro grietas alrededor del perímetro de la ventana o puerta y está en función de las dimensiones de la abertura. Los datos ingresados en este objeto se presentan en la Tabla 2.

#### RANGOS E ÍNDICES DE CONFORT.

El confort de las habitaciones se analiza en relación al rango propuesto por Givoni (1998) para climas fríos de países en vías de desarrollo. En invierno, las temperaturas son menores que en verano, obedeciendo a un mayor nivel de vestimenta y la aclimatación del cuerpo humano. En el verano, el rango de confort sube. Es importante notar que este efecto puede hacer ahorrar mucha energía en el acondicionamiento del aire, tomando en cuenta que el rango de temperatura es más elevado en la estación de verano.

| Valores adoptados   | Puertas        | Ventanas       |
|---|----------------|----------------|
| Coefficiente de flujo de aire-masa cuando la abertura se cierra [Kg/s-m]    | 0.00124 Kg/s-m | 0.00058 Kg/s-m |
| Exponente de flujo de aire-masa cuando la abertura se cierra (adimensional) | 0.65           | 0.65           |
| Factor de abertura -número (adimensional)                                   | 2              | 2              |
| Valor máximo de factor de abertura (adimensional)                           | 1              | 0.5            |

Tabla 2. Valores adoptados en el modelo de simulación en el objeto (ASHRAE, 2009). Fuente: Elaboración de los autores.

El rango de confort utilizado para el análisis térmico de los espacios de la vivienda se ubica entre 20° y 27°C, respondiendo a la estación estival, periodo en el cual se realiza el estudio. Por otro lado, y cuando se deba establecer sólo una temperatura para configurar el termostato, se utiliza 24°C.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### TEMPERATURAS INTERIORES – HISTOGRAMAS.

En este punto, se presentan los resultados de los escenarios simulados en un día típico de verano para los espacios de estar (espacio de doble altura), comedor y la habitación principal (espacios con orientación norte). Después, se analizan las frecuencias de temperaturas en un rango de clases de 16°C a 40°C (amplitud en la cual se engloba a todas las temperaturas simuladas).

En la Figura 7 se observan las temperaturas internas de los ambientes mencionados para la construcción tradicional. La situación térmica de los locales, cuando la ventilación no se produce, permanece considerablemente estable, reduciendo drásticamente la amplitud térmica que se presenta en el exterior. Sin embargo, la condición negativa de este escenario es la lejanía de esta situación térmica en relación al rango de confort. Por el contrario, el caso con ventilación nocturna es el que presenta más cantidad de horas dentro de este rango sin la necesidad de energía auxiliar. De igual modo, se advierte un aumento de la amplitud térmica interior. En esta condición de ventilación las temperaturas descienden a 24°C, 22°C y 25°C (estar, comedor y habitación) y durante las horas de sol alcanzan una temperatura de 31°C, 27°C y 28°C, respectivamente. Al ventilar de día, disminuye la amplitud térmica pero se

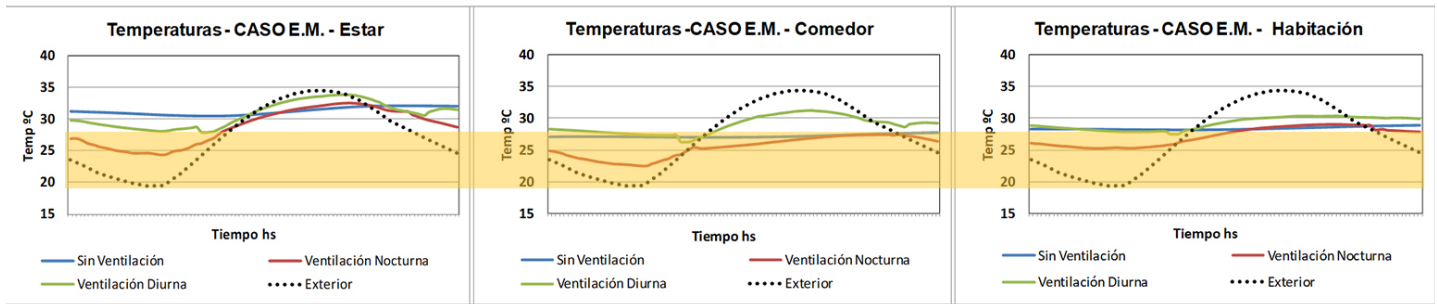


Figura 7. Temperaturas de los escenarios de ventilación, para el caso de envoltente másica. Fuente: Elaboración de los autores.

alcanza mayores temperaturas en horarios diurnos (33°C, 32°C y 31°C) cuando la temperatura exterior es de 34°C.

La Figura 8 presenta los histogramas para el caso con envoltente tradicional. Se aprecia allí que los mayores porcentajes de frecuencias de temperaturas altas se producen cuando no se ventila. Este porcentaje disminuye considerablemente cuando el usuario decide ventilar por la noche.

En el espacio del estar (con orientación norte y pared opaca al oeste), en el primer escenario, el 73% de las temperaturas oscilan entre 32°C y 34°C (36% de 32°C y 37% de 34°C). Al ventilar durante las horas de sol, ese porcentaje disminuye, 24% para 32°C, 27% para 30°C y solamente un 13% para 34°C. La ventilación nocturna hace descender más los porcentajes de las temperaturas más altas, 16% para 32°C y 12% para 34°C, con lo que aumentan las frecuencias de temperaturas cercanas a la zona de confort. Para el comedor (con orientación norte y pared opaca al este), para el primer escenario, el 45% para temperaturas del orden de los 30°C, no registra temperaturas tan altas como el estar. No obstante, cuando se ventila de día, no disminuye demasiado el porcentaje de temperaturas superiores a la zona de confort, ya que las temperaturas exteriores están altas (35°C). Con ventilación nocturna, las frecuencias se corren hacia las temperaturas más bajas, logrando un 60,8% de temperaturas que varían desde 18°C a 26°C.

Al analizar la habitación (con orientación norte y pared opaca al este, con techo expuesto al exterior), se observan frecuencias más altas que los otros espacios. Esto se debe a que tiene mayor superficie expuesta hacia el exterior. Ahora bien, la tendencia es la misma, los porcentajes de frecuencias de temperaturas altas disminuyen ventilando el espacio por la noche.

En la Figura 9 se advierten las temperaturas internas para la construcción liviana. Cuando no se produce ventilación, al igual que el caso con envoltente másica, las temperaturas permanecen estables, pero cuando se produce ventilación diurna o nocturna, aumenta la amplitud térmica interior.

Con ventilación diurna, temperaturas del estar, el comedor y la habitación descenden a 24°C, 25°C y 26°C, respectivamente y durante las horas de sol, alcanzan, de igual modo, una temperatura de 37°C, 35°C y 33°C. Al ventilar de noche, las temperaturas nocturnas de dichos espacios alcanzan 22°C, 22°C y 25°C y en el día, 39°C, 30°C y 33°C, respetivamente.

Las frecuencias de temperaturas para cada escenario en el caso de la envoltente liviana, se exponen en la Figura 10. La tendencia hacia la disminución de las temperaturas superiores a la banda de confort cuando se realiza ventilación nocturna en los espacios, se mantiene, al igual que en el caso con envoltente tradicional.

En el espacio del estar, el 81.4% de las temperaturas oscilan entre 32°C y 36°C (26.8% en 32°C, 38.5% en 34°C y 16.1% en 36°C) cuando no se ventila el espacio. Al ventilar durante las horas de sol, ese porcentaje disminuye a 51.3% para las mismas temperaturas. La ventilación nocturna hace descender los porcentajes de aparición de temperaturas altas, al 36.6%. Para el comedor, sin ventilar, se advierte un 47.3% para temperaturas del orden de los 30°C y 32°C. Cuando se ventila de día, no disminuye el porcentaje de temperaturas superiores a la zona de confort, pero aparecen temperaturas inferiores a 24°C. Con ventilación nocturna, las frecuencias de temperaturas altas (mayores de 30°C) descenden el porcentaje a 23.7%, logrando un mayor porcentaje de temperaturas dentro de la zona de confort. En la habitación, las frecuencias sin ventilación llegan a un 67.5% de temperaturas entre 30°C y 32°C. Al ventilar diurnamente, no descende considerablemente la frecuencia de temperaturas altas, 54.7%. No obstante, estos porcentajes disminuyen ventilando nocturnamente el espacio, 45%.

En este caso, donde la envoltente tiene poca masa térmica (industrializada) y es conservativa, se puede presentar un acercamiento entre las temperaturas máximas y mínimas interiores, cuando no se utilice la ventilación como estrategia de refrescamiento interior.

En este modelo se observa que la actuación de los escenarios de ventilación propicia, a los diferentes espacios,



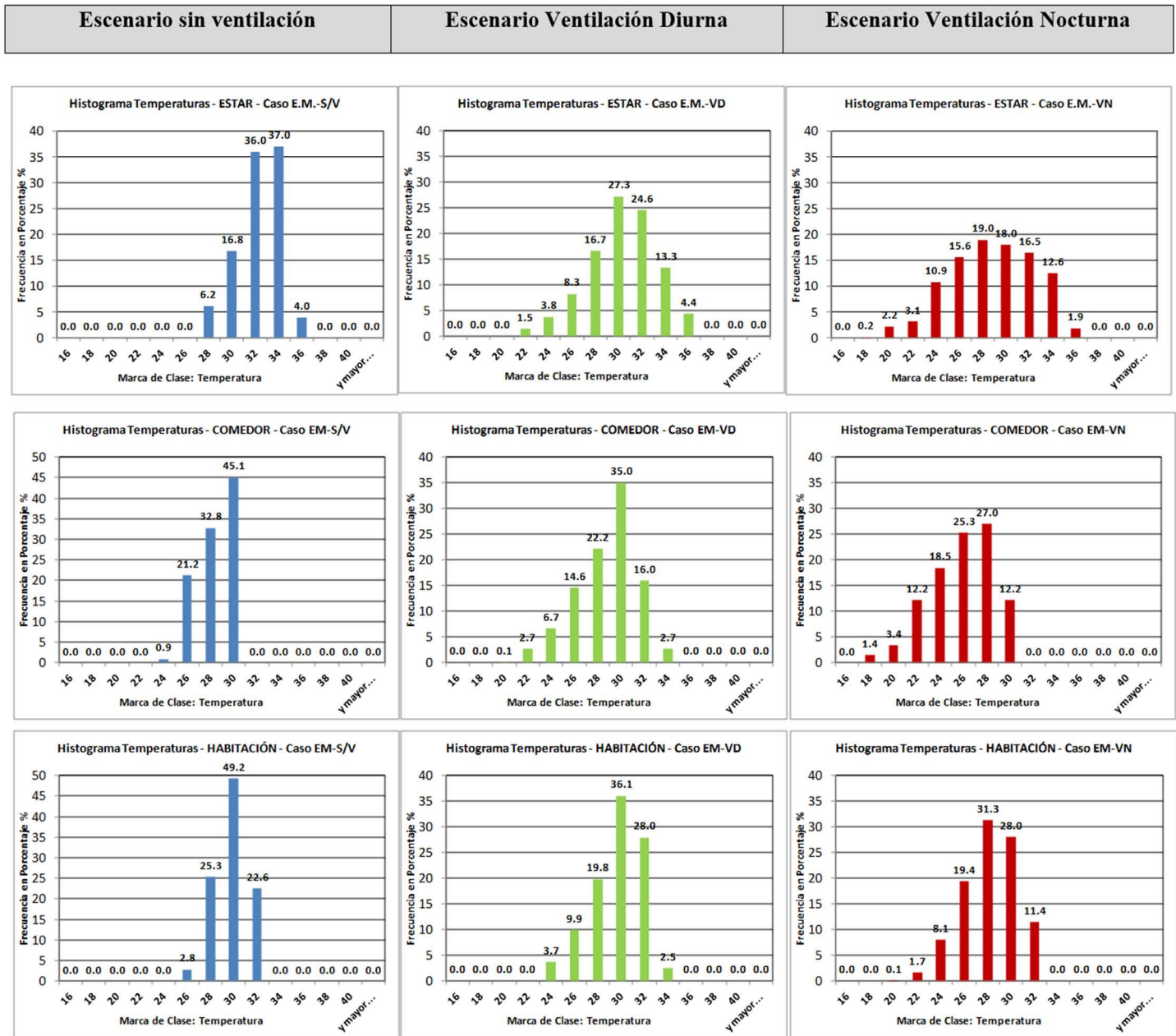


Figura 8. Histogramas de cada uno de los escenarios para cada espacio. Fuente: Elaboración de los autores.

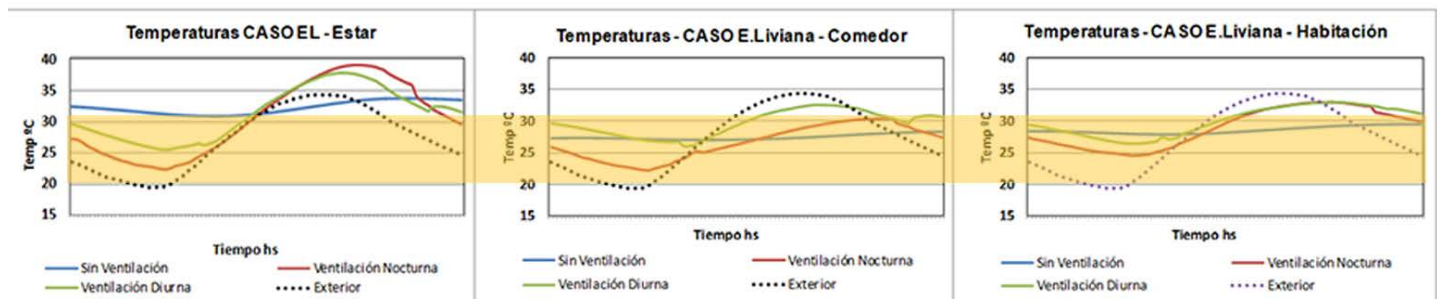


Figura 9. Temperaturas de los escenarios de ventilación, para el caso de envolvente liviana. Fuente: Elaboración de los autores.

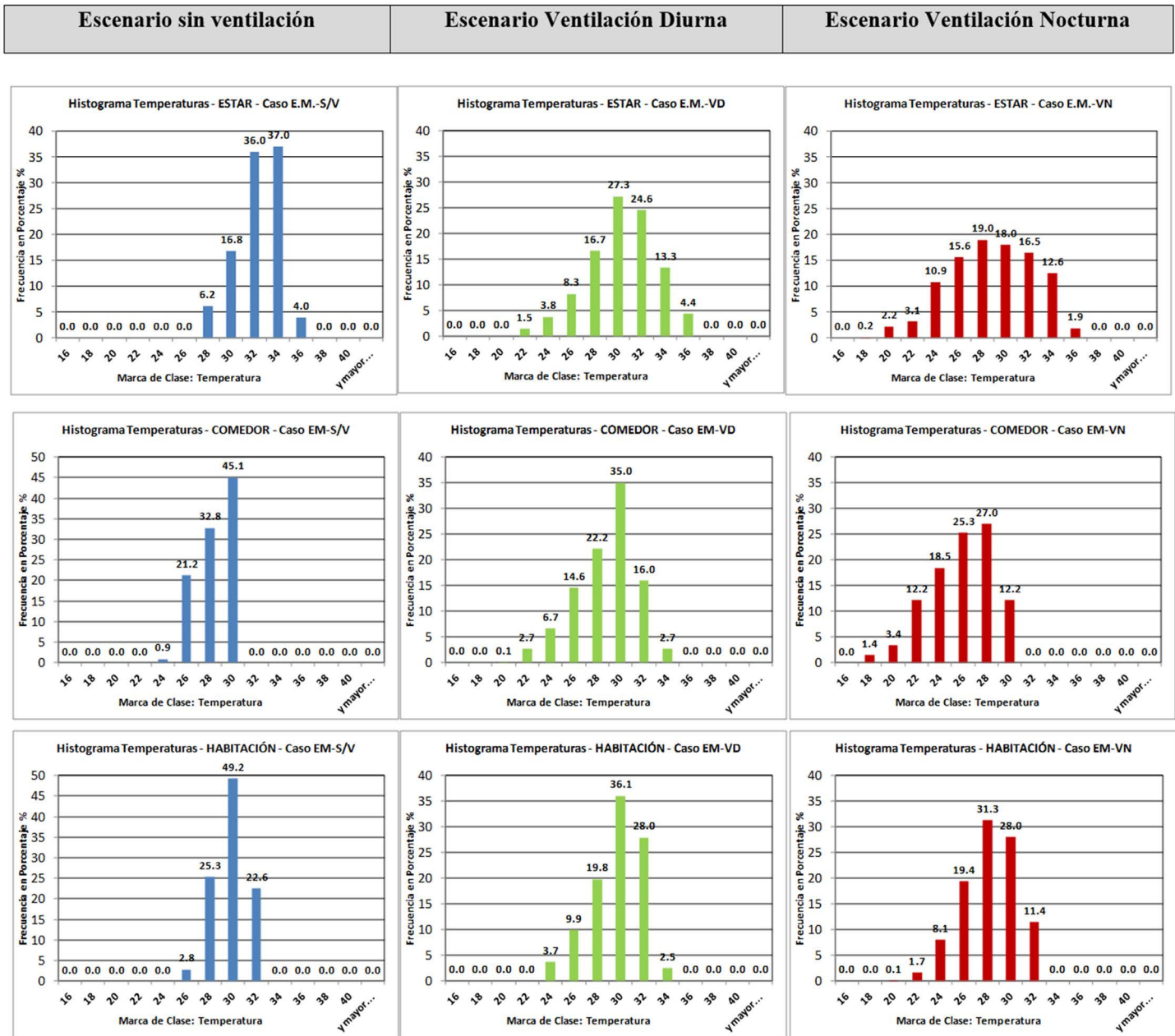


Figura 10. Histogramas de cada uno de los escenarios para cada espacio. Fuente: Elaboración de los autores.

mayor movilidad de las temperaturas internas, que en el caso del modelo tradicional (con mayor masa térmica). En los tres locales, la temperatura baja sostenidamente durante la noche, logrando de este modo que los locales se encuentren por cortos periodos en el rango de confort. Sin embargo, se advierte que la condición de ventilación por la noche provee de temperaturas más bajas que su par diurno en los locales de altura simple -comedor y habitación-. La situación del espacio del estar se considera particular puesto que las aberturas norte, ubicadas en lo alto del espacio, no se han considerado para la ventilación natural debido a que se trata de aberturas con paños de vidrio fijo.

Analizando los resultados entre el modelo másico y el modelo liviano, se puede afirmar que la amplitud térmica se reduce en un rango de 12 a 8°C. Esto señala la importancia de la capacidad de la inercia térmica en climas continentales, como el que ostenta la ciudad de Mendoza.

**ENERGÍA.**

Para cada tipo de envolvente se presenta el consumo mensual de energía asociado al enfriamiento artificial. El consumo energético de los diferentes modelos no varía sustancialmente, situación que deriva de la condición conservativa de ambos (ambos modelos simulados presentan aislación térmica en muros y techo).

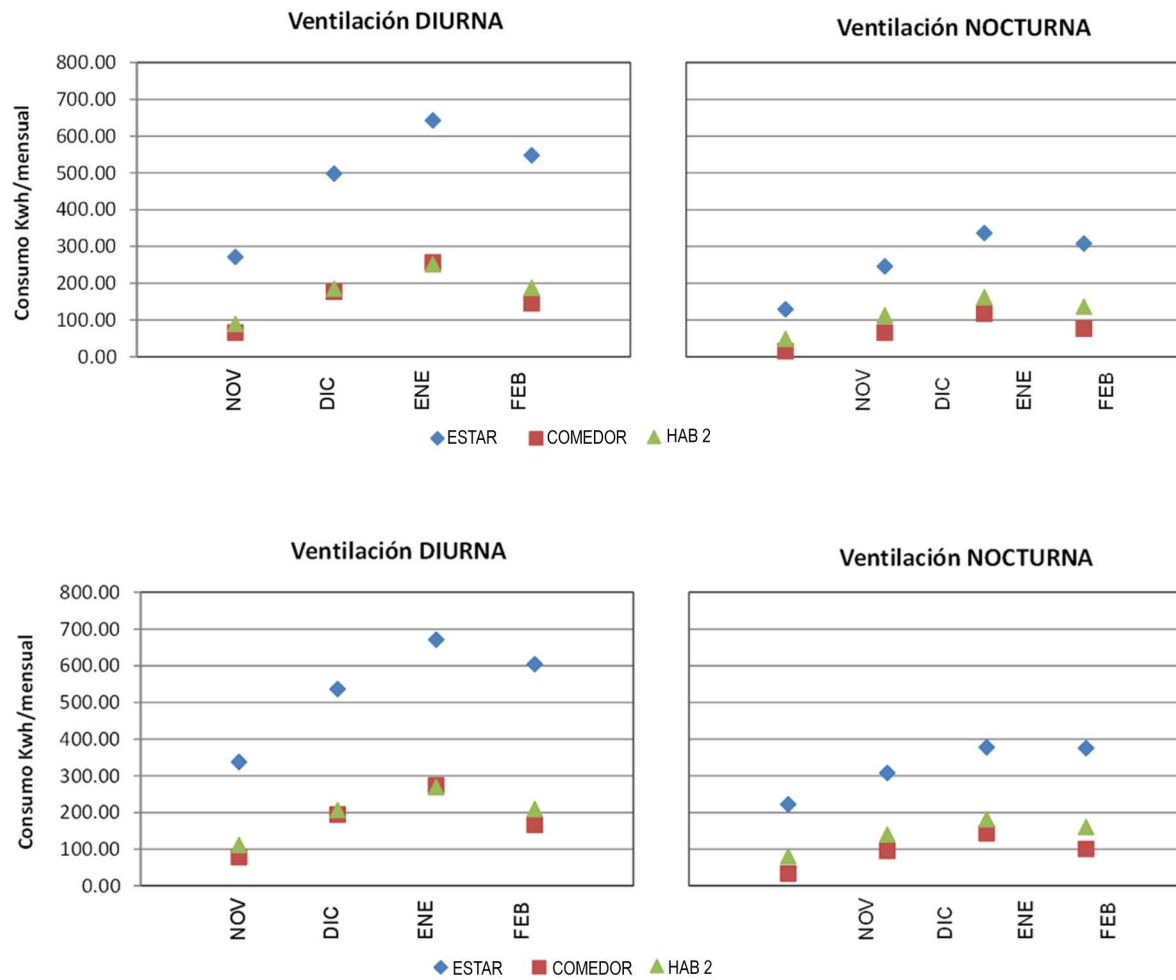


Figura 11. Consumo energético para construcción tradicional. Fuente: Elaboración de los autores

Figura 12: Consumo energético para construcción industrializada. Fuente: Elaboración de los autores.

Por otro lado, se distingue una diferencia cercana al 50% entre los escenarios de ventilación diurna y nocturna. El correcto funcionamiento de la ventilación natural reduce el consumo de energía cuando se propicia la ventilación durante las horas donde la temperatura exterior es más baja que la temperatura interna. Al mismo tiempo, se puede notar que si el usuario no discrimina esta situación y realiza una ventilación diurna, la demanda de energía mensual para enfriamiento se duplica.

## CONCLUSIONES.

La ventilación natural en edificios es una estrategia de diseño indispensable para el enfriamiento del mismo. La rutina de la apertura de las ventanas en un edificio altera drásticamente el rendimiento energético de los mismos (Sorgato, Melo y Lamberts, 2016). En este marco, el desarrollo del presente trabajo permitió, a través de la simulación, evaluar la influencia del comportamiento de los usuarios en la ventilación natural de la vivienda y cuantificar

el consumo energético bajo dos situaciones: a. horario de apertura de ventanas (diurna y nocturna) y, b. para dos composiciones tecnológicas de la envolvente (tradicional e industrializada). Un ingreso claro y con solidez de los datos en el grupo "Airflow Network", del programa Energy Plus, disminuye la incertidumbre de los resultados.

Los resultados hacen posible advertir que el usuario de un edificio bioclimático debe abrir por su cuenta las ventanas en la noche durante el período estival, demostrando la efectividad de la masa como elemento de sumidero de calor que se debe descargar por efecto de ventilación, que lame el calor de los paramentos permitiendo el descenso de la temperatura en horas de la madrugada. En cuanto a las diferencias entre el modelo tradicional y el industrializado, se constató que el primero consigue, por sobre el segundo, una disminución de la temperatura de 5°C, para el espacio de mayor volumen de aire y doble altura (estar), y de 4°C, en relación al espacio de menor volumen y altura estándar (comedor), para una amplitud térmica exterior de 15°C. Se obtiene una situación similar a la expuesta por Donald y

Ghisi (2011) quienes también concluyen que la adopción de una envolvente con mayor capacidad térmica reduce la cantidad de horas de discomfort.

En relación a la eficiencia energética, se advirtió que favoreciendo la ventilación nocturna se establece una diferencia en el consumo energético cercano al 50% menor que su par diurno, para los dos tipos de construcción.

Los resultados de consumo energético de ambos modelos, tradicional e industrializado, no presentan diferencias significativas, sin embargo, las condiciones térmicas interiores son distintas. En el modelo másico, alcanzan un mayor acoplamiento, reduciéndose de 12°C a 8°C la amplitud térmica interior. Esta situación provee de confort térmico a los usuarios. En definitiva, el uso de la masa térmica (inercia térmica) en climas templados continentales aumenta la calidad de las condiciones térmicas de los espacios, sobre todo en verano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. *Handbook of Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009.

BRAGER Gail y BAKER Lindsay. Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. *Building Research & Information*, 2009, vol. 37, n° 4, pp. 369-380.

CHEN, Yujiao; TONGA, Zheming y MALKAWIA, Ali. Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations. *Building and Environment*, 2017, vol. 122, pp. 386-396.

CORGNATI, Stefano P.; FABRIZIO, Enrico; RAIMONDO, Daniela y FILIPPI, Marco. Categories of indoor environmental quality and building energy demand for heating and cooling. *Building Simulation Journal*, 2011, vol. 4, n° 2, pp. 97-105.

CRAWLEY, Drury B.; LAWRIE, Linda K.; WINKELMANN, Frederick C.; BUHL, W. F.; HUANG, Joe Y.; PEDERSEN, Curtis O.; STRAND, Richard K.; LIESEN, Richard J.; FISHER, Daniel E.; WITTE, Michael J. y GLAZER, Jason. Energy Plus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 2001, vol 33, n° 4, pp. 319-331.

EBEL, Witta; GROßKLOS Marc; KNISSEL, Jens; LOGA, Tobias; KORNELIA, Müller. *Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der 'Gartenhofsiedlung Lummerlund' in Wiesbaden-Dotzheim*. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt IWU, 2003.

ENERGY PLUS. *Software de simulación de energía* [en línea]. Estados Unidos Departamento de Energía. Disponible en: <https://energyplus.net>.

ESTEVEZ, Alfredo; GELARDI, Daniel; OLIVA, Alejandro. The Shape in the Bioclimatic Architecture: The FAEP Factor. En: *Proceedings of II Conf. Teachers in Architecture*, Florencia, 1997, cap. 3.12.

FABI, Valentina; VINTHER ANDERSEN, Rune; CORGNATI, Stefano y W. OLESEN, Bjarne. Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, 2012, vol. 58, pp. 188-198.

FILIPPÍN, Celina; FLORES LARSEN, Silvana; BEASCOCHEA, Alicia; LESINO, Graciela. Response of conventional and energy-saving buildings to design and human dependent factors. *Solar Energy*, 2005, vol. 78, n° 3, pp. 455-470.

GIVONI, Baruch. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GONZÁLEZ CÁCERES, Alex y DÍAZ CISTERNAS, Muriel. Función e impacto del archivo climático sobre las simulaciones de demanda energética. *Hábitat Sustentable*, 2013, vol. 3, n° 2, pp. 75-85.

DONALD PEREIRA, Cláudia y GHISI, Eneidir. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. *Energy and Building*, 2011, vol. 43, n° 12, pp. 3391-3399.

HALDI, Frédéric y ROBINSON, Darren. Interactions with window openings by office occupants. *Building and Environment*, 2009, vol. 44, n° 12, pp. 2378-2395.

HENSEN, Jan. Simulation of building energy and indoor environmental quality – some weather data issues. En: *Proceedings of the International Workshop on Climate Data and their Applications in Engineering*, 4-6 octubre. Praga: Hydrometeorological Institute, 1999, pp. 1-15.

HOES, Pieter-Jan; HENSEN, Jan; LOOMANS, M.G.L.C.; DE VRIES, Bert; BOURGEOIS, Denis. User behavior in whole building simulation. *Energy and Building*, 2009, vol. 41, n° 3, pp. 295-302.

IRAM 11603. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República de Argentina*. Buenos Aires, 1996.

IRAM 11605, *Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en viviendas*. Buenos Aires: 1996.

IWASHITA, Go y AKASAKA, Hiroshi. The effect of human behavior on natural ventilation rate and indoor environment in summer – a field study in southern Japan. *Energy and Building*, 1997, vol. 25, n° 3, pp. 195-205.

GU, Lixing. *Airflow network modeling in EnergyPlus*. IBPSA 2007 - International Building Performance Simulation Association, 2007.

MERCADO, M. Victoria; BAREA, Gustavo y ESTEVES Alfredo. Auditoría y simulación energética en la ciudad de Mendoza, Argentina. Análisis del comportamiento térmico de una vivienda unifamiliar de diseño pasivo y consumo energético anual. En: *Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación. ASADES*. Salta, 2015, pp. 05.147-05.158.

MICHAEL, Aimilios; DEMOSTHENOUS, Despina y PHILOKYPROU, Maria. Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus. *Energy and Building*, 2017, vol. 144, pp. 333-345.



NICOL, J. Fergus. Characterizing occupant behavior in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds heaters and fans. En: *Proceedings of the 7th International IBPSA Conference*. Rio de Janeiro: Seven International IBPSA, 2001, pp. 1073-1078.

NICOL, J. Fergus y HUMPHREYS, Michael. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Building*, 2002, vol. 34, n° 6, pp. 563-572.

RAYA Ifitkhar A.; NICOL J. Fergus; MCCARTNEY, Kathryn J. y HUMPHREYS, Michel A. Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, 2001, vol. 33, n° 3, pp. 235-244.

ROPERO, Daniel y COMAS MORA, Ana. Arquitectura y construcción modular de viviendas [en línea]. [Consultado 20 febrero 2018]. Disponible en: [http://eraikal.blog.euskadi.eus/wp-content/uploads/2013/01/Construcci\\_n-Modular-y-Arquitectura-2.pdf](http://eraikal.blog.euskadi.eus/wp-content/uploads/2013/01/Construcci_n-Modular-y-Arquitectura-2.pdf). España.

SHAVIV, Edna; YEZIORO, Abraham y CAPELUTO, Isaac G. Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. *Renewable Energy*, 2001, vol. 24, n° 3-4, pp. 445-452.

SORGATO, Marcio J.; MELO, Ana Paula y LAMBERTS, Roberto. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. *Energy and Building*, 2016, vol. 133, pp. 1-16.

LIPING, Wang y HIEN, Wong Nyuk. The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Building and Environment*, 2007, vol. 42, n° 12, pp. 4006-4015.

YUN, Geun Young y STEMEERS, Koen. Time dependent occupant behavior models of window control in summer. *Building and Environment*, 2008, vol. 43, n° 9, pp. 1471-1482.



# NIVEL DE EFICIENCIA DEL USUARIO (NEU) VS. CONSUMO ELÉCTRICO EN 14 EDIFICIOS RESIDENCIALES EN ALTURA EN SAN JUAN, ARGENTINA.

## USER EFFICIENCY LEVEL (UEL) VS. ELECTRICITY CONSUMPTION IN 14 RESIDENTIAL BUILDINGS IN SAN JUAN, ARGENTINA.

ALCIÓN DE LAS PLEYADES ALONSO FRANK  
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA)  
Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño (FAUD)  
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)  
San Juan, Argentina  
afrank@faud.unsj.edu.ar

ERNESTO KUCHEN  
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA)  
Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño (FAUD)  
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)  
San Juan, Argentina  
ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar

### RESUMEN

El sector edilicio residencial representa el 44% del consumo eléctrico local, siendo el usuario responsable de dicho consumo, sobre todo por el empleo de sistemas que consumen elevada cantidad de energía, como los sistemas de climatización individual. Este trabajo parte de la hipótesis de que su comportamiento, en relación al uso de estrategias de adaptación pasivas o activas para satisfacer su condición de confort, incide en el rendimiento energético edilicio. El objetivo es conocer la correlación entre el Nivel de Eficiencia del Usuario (índice NEU) y el Consumo Energético del edificio. Para ello, se realiza un trabajo de campo en 14 edificios residenciales en altura, ubicados en San Juan, Argentina. En base a encuestas y relevamiento de datos objetivos, se conocen los hábitos que el usuario promedio emplea para satisfacer su condición de confort térmico en período cálido, se calcula el índice NEU y se correlaciona con los datos de consumo energético. En este estudio se encuentra una fuerte correlación ( $R=-0,779$ ) entre comportamiento, concientización y consumo de energía.

### Palabras clave

hábitos de uso de la energía, consumo energético, confort, nivel de eficiencia del usuario

### ABSTRACT

The residential building sector accounts for 44% of local electricity consumption and is the user responsible for this consumption, especially through the use of energy-intensive systems such as individual air-conditioning systems. This work is based on the hypothesis that their behaviour, in relation to the use of passive or active adaptation strategies to satisfy their condition of comfort, has an impact on building energy efficiency. The objective is to know the correlation between the User Efficiency Level (UEL index) and the Energy Consumption of the building. For this purpose, fieldwork is carried out in 14 residential buildings located in San Juan-Argentina. Based on surveys and objective data collection, the habits that the average user uses to satisfy his or her thermal comfort condition in warm periods are known, the UEL index is calculated and correlated with the energy consumption data. In this study there is a strong correlation ( $R=-0,779$ ) between behavior, awareness and energy consumption.

### Keywords

energy usage habits, energy consumption, comfort, user efficiency level

## INTRODUCCIÓN

En la evolución del consumo de energía primaria de los últimos cincuenta años, sobresalen el petróleo, el gas y el carbón como dominantes, y, en cuarto lugar, aparece la energía hidroeléctrica, que de manera favorable presenta una tendencia creciente. No obstante, los escenarios energéticos desarrollados por la Agencia Internacional de Energía, AIE, (2016) no arrojan resultados positivos, puesto que se esperan importantes incrementos de consumo en los próximos 50 años, concretamente: 74%, en gas natural; 19%, en carbón; 75%, en nuclear; y hasta por encima del 100%, en otras; por lo que la Eficiencia Energética (EE) en el empleo de artefactos de consumo eléctrico (ACE), iluminación, calefacción y refrigeración, es fundamental.

Los sectores residencial e industrial en Argentina consumen gas de red y energía eléctrica, aunque la participación del primero es considerablemente superior en términos de demanda calórica (Riavitz, Zambon y Giuliani, 2015). Dentro del sector residencial, el gas distribuido por redes, del cual se depende anualmente, representa el 58% y la energía eléctrica (dependencia estacional), el 32% (Secretaría de Energía de Nación, 2017), correspondiéndose con un incremento del equipamiento en el hogar (equipos de aire acondicionado, microondas, hornos eléctricos, computadoras, teléfonos celulares, entre otros). Se destaca que en el período 1993-2014 la demanda de electricidad por usuario aumenta en un 71,6% y la de gas natural, sólo un 3,7% (Chévez, 2017). De ello se desprende la importancia de trabajar en estrategias de disminución del consumo de energía eléctrica sustentada en el uso racional y eficiente de la energía (URE) por parte de los habitantes. A partir de los escenarios elaborados<sup>1</sup>, se obtiene que el ahorro de potencial y mejora de EE se sustenta en tres medidas: en energía eléctrica (hasta un 15%), en gas natural (2,3%) y en transporte (10,6%). Se estima, asimismo, que para abastecer dicha demanda eléctrica resultará necesario instalar entre 24 y 17 GW de generación y la mitad debiera ser renovable. Las políticas de ahorro y EE propuestas conducen a una reducción del consumo de energía final de 5,9% para el año 2025.

A nivel local, en San Juan, el aprovechamiento del potencial orográfico y topográfico se encuentra en pleno auge de desarrollo y constituye el mayor avance en materia de reducción de emisiones equivalentes. A través de la ubicación estratégica de diques para la generación hidroeléctrica y la instalación de plantas solares fotovoltaicas, conduce en los últimos años a la obtención de energía eléctrica de origen renovable en un alto porcentaje (Alonso Frank y Kuchen, 2016). En lo que respecta a energía eléctrica, San Juan se distingue por

ser una Provincia modelo, ya que el 90% de la energía producida proviene de fuentes renovables (SEN, 2017). En cuanto a la energía consumida por sector, resalta la presencia del residencial (44%), seguida por el industrial (36%). Y en relación a los escenarios energéticos, se persigue aquí el Uso Racional de la Energía (URE).

Los programas nacionales para el URE tienen por objeto la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales de los ciudadanos (Risuelo, 2010). La obtención de edificios con elevado nivel de EE genera un bajo impacto al medioambiente a la vez que asegura el confort de los habitantes (EnBop, 2008). Para ello, se parte de una serie de consideraciones iniciales, como la localización geográfica y geometría edilicia, condiciones climáticas interiores-exteriores, materiales y técnicas de construcción empleados, instalaciones de climatización, artefactos de consumo, hábitos de URE, entre otros.

En 1979, la creación de la Dirección Nacional de Conservación de Energía, de la Secretaría de Energía de Nación (SEN), en Argentina, representa un punto de partida que evoluciona muy brevemente. Factores como abundancia de recursos, alto costo de extracción y transporte de energía, bajo precio de energía final, consumo indiscriminado y otorgamiento de subsidios sin seguimiento, se traducen en escaso financiamientos a proyectos de EE y deficiente educación ambiental de la sociedad.

En lo que concierne al precio de la energía eléctrica, se observan grandes variaciones a nivel internacional (Tabla 1), a diferencia de los combustibles fósiles cuyos valores comerciales en los mercados mundiales son comparativamente similares (Statistics Explained, 2017).

Sin considerar el costo de extracción, transformación y traslado de energía, la Tabla 1 muestra que, en 2017, el precio en Argentina representa un 16% del precio en Dinamarca, como así una de las tarifas más bajas de entre los países latinoamericanos, siendo que desde 2015, con el cambio de Gobierno argentino a la fecha, el precio ascendió en factor 3.

En este contexto, se vuelve altamente trascendente promover un equilibrio entre conductas y uso racional de los recursos. Con ese fin, se requiere trabajar en el concepto de educación ambiental y participación ciudadana. En este trabajo se desarrolla, consecuentemente, una metodología de abordaje para la obtención de la información y se procede a un análisis estadístico exhaustivo para la construcción de información de calidad.

---

[1] La Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico desarrolla en Diciembre de 2016 el informe denominado "Escenarios Energéticos 2025".



| País del mundo | Precio (USD/kWh) | País de Latinoamérica | Precio (USD/kWh) |
|----------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Dinamarca      | 0,358            | Uruguay               | 0,296            |
| Alemania       | 0,345            | Chile                 | 0,158            |
| Bélgica        | 0,318            | Brasil                | 0,121            |
| Japón          | 0,307            | Bolivia               | 0,075            |
| España         | 0,265            | Argentina             | 0,058            |

Tabla 1. Tarifas de energía eléctrica para uso residencial (2017). Fuente: Elaboración de los autores en base a datos de Eurostat, Banco Mundial, OCDE, CEPAL, 2017.

## EDUCACIÓN ENERGÉTICA PARA EL DESARROLLO.

La educación energética hace referencia al desarrollo de un sistema de conocimientos, procedimientos, habilidades, comportamientos, actitudes y valores en relación con el uso adecuado de las formas de energía, su generación y su gestión, lo que implica que la misma debe orientarse hacia una formación epistemológica que incluya los adelantos tecnológicos, financieros y sociales que hacen que el habitante sea parte activa de los modelos energéticos (Gallego y Castro, 2014). El cambio de actitud conduce a cambios de hábitos, que proporcionan a la conducta, una estabilidad y régimen que hace posible que uno se encuentre más cómodo en esa nueva situación que ha adquirido (Pupo y Pérez, 2005).

Mediante la presente investigación se propone realizar un aporte en este aspecto. Se persigue comunicar sobre el URE, *in situ*, a un grupo de personas que habitan en edificios residenciales en altura y demostrar que el habitante es responsable en gran medida de la eficiencia/ineficiencia energética edilicia, independientemente de las características físicas del mismo (Alonso Frank y Kuchen, 2017a).

## METODOLOGÍA

Para conocer la forma de consumo de energía eléctrica de los habitantes de edificios residenciales en altura y establecer su correlación con su nivel de conocimiento del URE, se emplea una metodología cuasi-experimental, definida por Campbell y Stanley (1966) y luego ampliada por Cook y Campbell (1979), la cual utiliza una muestra distinta de sujetos para cada uno de los niveles (Gambara, 2002; Meltzoff, 2000), esto es, se trabaja por diferenciación entre grupos (denominada investigación cuasi-experimental de tipo *Pre-Post*) (Montero y León, 2002; Trochim, 2006). Ello, a efectos de hacer una comparativa de diferentes comportamientos, entre aquel grupo de habitantes que, mediante una intervención, son informados acerca de estrategias de URE y los que no lo son.

## PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Mediante un trabajo de campo se procede a un estudio y análisis de los consumos de energía eléctrica de las unidades habitacionales mediante datos provistos por el Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE). Posteriormente, se divide a la muestra en dos grupos de manera casual con el objetivo de no tener, *a priori*, control de las variables y, por tanto, dar fiabilidad y confianza sobre los estudios mencionados (Hernández, Fernández y Baptista, 2006). En cada uno de los departamentos seleccionados del Grupo 2, se convoca a reuniones informativas acerca de la importancia del URE en el hogar: las implicancias ambientales y económicas del elevado consumo energético. Después, se realizan encuentros en cada departamento para reforzar la temática planteada y responder inquietudes, generando de esta manera un “ida y vuelta” de los conocimientos adquiridos. Se busca, en este sentido, que el ciudadano sea activo en su propio cambio y se espera inducir a un cambio de actitud frente al uso de la energía, que conduzca a cambios de hábitos en el tiempo, con el propósito de que adquiera un comportamiento que esté en armonía con el medioambiente (Alfaro, 1993). En la última visita se entrega un folleto informativo tamaño A4 (y dos imanes) que, además de los tradicionales “tips de ahorro energético”, posee información sobre el etiquetado, recomendaciones de hábitos para permanecer confortable en verano, datos de la matriz energética provincial, indica cómo se lee el consumo propio en relación a los últimos registros de la boleta de energía eléctrica local y brinda un dato de contacto para seguir comunicados ante cualquier inquietud (Figura 1). Este proceso se realiza entre agosto y octubre del año 2016.

Subsiguientemente, a ambos grupos se les realiza una encuesta de dos carillas, de modo de conocer las características del uso de los ACE por parte del habitante, como así también, las estrategias que el mismo emplea para satisfacer su confort térmico interior. Dichas estrategias pueden ser del tipo activas (que implican un consumo de energía adicional) o pasivas (sin consumo energético). La pregunta que las permite conocer dice: “¿Qué medida emplea, y con qué frecuencia, para controlar la temperatura en esta época del año?” (Tabla 2). Las expresiones idiomáticas locales para indicar frecuencias de uso,

## QUÉ PUEDO HACER PARA SER EFICIENTE EN MI HOGAR?

### 1 Etiquetado de Eficiencia

Si elijo A

**Ahorro el 45%**

Más eficiente  
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
Menos eficiente

**Usemos nuestra energía de manera inteligente**

### 2 Cambio de hábitos en verano

- 1° Apago el aire acondicionado de 21 a 09 hs
- 2° Tomo una ducha de 5 minutos
- 3° Ventilo la vivienda de 21 a 09 hs
- 4° Protejo del sol de 09 a 19 hs

**Muy eficiente**

**Cuanto menos energía consumo, más sustentable soy**

Aprovechemos la luz natural

24°C  
Cada grado extra nos representa un 8% más de energía

Descongelemos periódicamente

Máx.  
Si lavamos con agua fría ahorramos un 75% de energía

Desenroquemos si interponemos con otras tareas

Sin "modo de espera" ahorramos un 70% de energía.

**AHORRA PUEDO RECUPERAR DINERO PERDIDO!!**

## Conociendo mi Factura de Energía Eléctrica

**Registro de últimos 7 consumos (por bimestre)**

**Consumo eléctrico de la Provincia de SAN JUAN**  
Fuente: Secretaría de Energía de la Nación

| Sector      | Porcentaje |
|-------------|------------|
| RESIDENCIAL | 44%        |
| INDUSTRIAL  | 36%        |
| RIEGO       | 17%        |
| OTROS       | 3%         |

**¿Quiero saber más?**

✉ [afrank@faud.unsj.edu.ar](mailto:afrank@faud.unsj.edu.ar)

☎ (264) 4232395/3259 Interno: 324 – Arq. Alonso

📍 Av. Ignacio de la Roza 590 (O) – Rivadavia – San Juan

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat | Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño | Universidad Nacional de San Juan

## QUÉ PUEDO HACER PARA SER EFICIENTE EN MI HOGAR?

- 1° Apago el aire acondicionado de 21 a 09 hs
- 2° Tomo una ducha de 5 minutos
- 3° Ventilo la vivienda de 21 a 09 hs
- 4° Protejo del sol de 09 a 19 hs

**Muy eficiente**

**Cuanto menos energía consumo, más sustentable soy**

## EN VERANO PUEDO RECUPERAR DINERO

24°C  
Cada grado extra nos representa un 8% más de energía

Sin "modo de espera" ahorramos un 70% de energía.

## EN VERANO PUEDO RECUPERAR DINERO

24°C  
Cada grado extra nos representa un 8% más de energía

Máx.  
Si lavamos con agua fría ahorramos un 75% de energía

Figura 1. Folleto e imanes entregados a los habitantes de los edificios que integran el Grupo 2.  
 Fuente: Elaboración de los autores

| ESTRATEGIA |    |                             | FRECUENCIA            |                       |                       |                       |                       |
|------------|----|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|            |    |                             | Siempre               | Amenudo               | Rara vez              | Nunca                 | No es posible         |
| PASIVAS    | 1  | Apertura de ventana         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 2  | Apertura de puerta          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 3  | Apertura de cortinas        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 4  | Apertura de parasol/celosía | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 5  | Adaptación de la ropa       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 6  | Ducha/Refrescamiento        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 7  | Tomar agua u otro           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 8  | Otra: _____                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ACTIVAS    | 9  | Uso del aire acondicionado  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 10 | Uso del ventilador          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|            | 11 | Otro: _____                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Tabla 2. Pregunta sobre hábitos de empleo de estrategias por el habitante en su vivienda.

Fuente: Elaboración de los autores a partir de Kuchen (2008); Alonso Frank y Kuchen (2016; 2017a).

establecidas para cada tipo de estrategia son: “siempre”, “a menudo”, “rara vez”, “nunca” y “no es posible” (Kuchen, 2008). En aras de traducir la subjetividad de la respuesta, se otorga un valor numérico equivalente, que va de 1 a 5 puntos, en relación a la frecuencia y posibilidad de uso de cada una de las opciones (Alonso Frank y Kuchen, 2017a).

La encuesta es una técnica mediante la cual se puede obtener la información necesaria que posibilite determinar el índice “NEU” propuesto por Alonso Frank y Kuchen (2017a). Además, en el caso del Grupo 2, la encuesta (y su consecuente consumo energético en dicho período) permite precisar si el habitante ha desarrollado/aplicado efectivamente los conocimientos adquiridos y, por consiguiente, ha aumentado la eficiencia del mismo.

La encuesta se efectúa entre diciembre de 2016 y marzo de 2017. Se fundamenta su realización en verano dadas las elevadas temperaturas de esta estación, la más crítica de la provincia. Esto es por el sobre-elevado consumo de energía eléctrica para uso de refrigeración (Kurbán, 2012) que, a su vez, conlleva en los últimos años a numerosos cortes de suministro de energía por sobrecarga en el sistema (Villarreal y Bustos, 2014).

## CASOS DE ESTUDIO

Como área de estudio se toma a la Ciudad de San Juan (Argentina), altitud de 630 metros sobre el nivel del mar, latitud 31,6° Sur y longitud 68,5° Oeste. Su clima es desértico, con concentración estival de precipitaciones, según la clasificación de Köeppen, y de tipo templado

cálido seco, según la NORMA IRAM 11603 (1996). San Juan integra la diagonal árida sudamericana. En su extensión, San Juan posee uno de los climas más rigurosos, producto de su índice de continentalidad (40,5), índice hídrico (-53,8), índice de aridez (0,102), porcentaje de heliofanía relativa (71,8%), elevada radiación solar (promedio anual 456,3 cal.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>), temperatura promedio máxima anual (26,2°C), temperatura mínima anual (10,2°C) y precipitación anual (96 mm) (Kurbán, 2016). Posee, asimismo, veranos calurosos con aire comparativamente deshidratado y viento predominante del sector sudeste con ráfagas intensas del viento local “Zonda” (Kurbán y Cúnsulo, 2017).

La definición del tipo y tamaño de la muestra se realiza a efectos de disponer de una cantidad significativa para el análisis. El área de intervención considera las manzanas que a nivel urbano poseen las mayores cargas térmicas, de las cuales se seleccionan aquellas inmediatas a la plaza central de la ciudad (Figura 2). En las mismas se encuentran catorce edificios residenciales en altura, construidos entre la década del 60 y 90.

El tamaño de la muestra de 196 departamentos distribuidos en los catorce edificios seleccionados (Figura 3), se toma conforme al alcance de nivel de confianza de los resultados del 99%. Los mismos son de construcción tradicional, con muros de ladrillón y en algunos casos con ladrillo hueco de 16 celdas, revoque, pintura y losas macizas. El coeficiente de transmitancia térmica (K) promedio en muros es de 2,2±0,63 W/m<sup>2</sup>°C y en el cerramiento superior, de 1,3±0,5 W/m<sup>2</sup>°C. Las aberturas poseen en su mayoría vidriado simple de e=4mm, K=5,8 W/m<sup>2</sup>°C (Norma IRAM 11605).



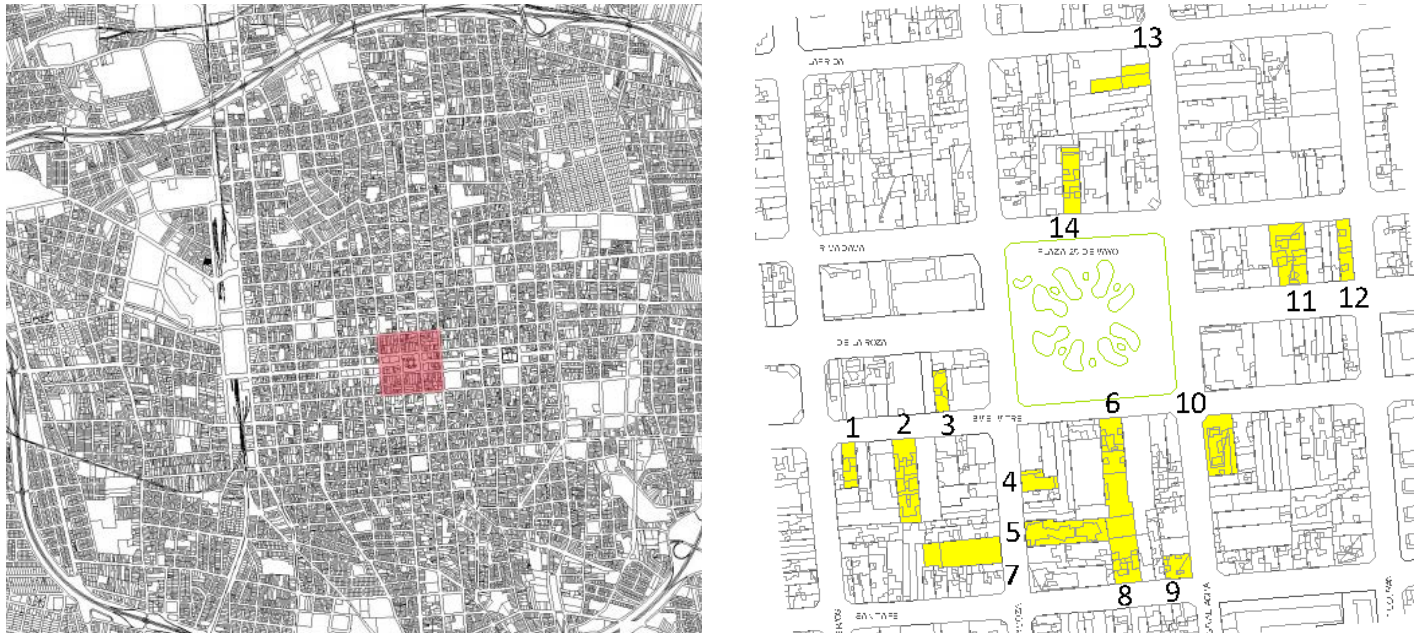


Figura 2. Delimitación intra-anillo de la ciudad de San Juan. En rojo se demarca el área de análisis; en amarillo se indican los casos de estudio.  
 Fuente: Alonso Frank y Kuchen (2017b:07).



Figura 3. Casos de estudio. La numeración se corresponde con la indicada en la Figura 2.  
 Fuente: Alonso Frank y Kuchen (2017b:07).



## CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

El Grupo 1 presenta una media del año de construcción de 1984 (Desviación estándar = 17 años; mediana del año 1992), 4 niveles (Desviación estándar = 2,5 niveles; mediana de 4 niveles), 87,36m<sup>2</sup> (Desviación estándar = 35,38m<sup>2</sup>; mediana de 85m<sup>2</sup>), 2 habitantes por unidad habitacional (Desviación estándar = 1 habitante; mediana de 2 habitantes), antigüedad de residencia en la vivienda de 7 años (Desviación estándar = 8,10 años; mediana de 4 años) y permanencia diaria media de 8 a 16 horas, en un 60,34% de los casos, y mayor a 16 horas, en un 37,93%. El 41,07% de las unidades habitacionales encuestadas posee orientación específica Norte-Sur y un 14,29% posee orientación Este-Oeste, entre otras.

El Grupo 2 presenta una media del año de construcción de 1971 (Desviación estándar = 14 años; mediana del año 1967), 4 niveles (Desviación estándar = 2,7 niveles; mediana de 4 niveles), 100,36m<sup>2</sup> (Desviación estándar = 21,84m<sup>2</sup>; mediana de 100m<sup>2</sup>), 2 habitantes por unidad habitacional (Desviación estándar = 1 habitante; mediana de 2 habitantes), antigüedad de residencia en la vivienda de 10,27 años (Desviación estándar = 12,50 años; mediana de 5,50 años) y permanencia diaria media de 8 a 16 horas, en un 70,11% de los casos, y mayor a 16 horas, en un 26,44%. El 43,68% de las unidades habitacionales encuestadas posee orientación específica Norte-Sur y un 16,09% posee orientación Este-Oeste, entre otras.

De esta manera, se determina que ambos grupos son estadísticamente comparables entre sí.

### ESTADO DEL USO DE ACE

Del relevamiento llevado a cabo, se obtiene que el 100% de los habitantes posee artefactos de consumo eléctrico (ACE) destinados a cubrir las demandas básicas de alimentación (heladera) e higiene (lavarropas) y que, en relación a las demandas térmicas, el 96% de las unidades habitacionales está dotada de algún tipo de aire acondicionado (AA) y sólo el 65% posee ventilador. Ello es indicativo de que este último no es suficiente para cubrir dicha demanda, o bien, no se tiene o se ha perdido el hábito de su uso (Figura 4).

En la Figura 4, que muestra los consumos parciales [kWh/mes] de todos los ACE, se observa que del consumo medio, el 61% corresponde a AA, el 2% a ventilador y el 14% a heladera, entre otros.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para obtener enunciados precisos de la extensa información recolectada en los 14 edificios residenciales en altura, los datos se analizan con el software estadístico SPSS.

Nivel de Eficiencia del Usuario – NEU.

Se calcula, para cada grupo, el NEU desarrollado por

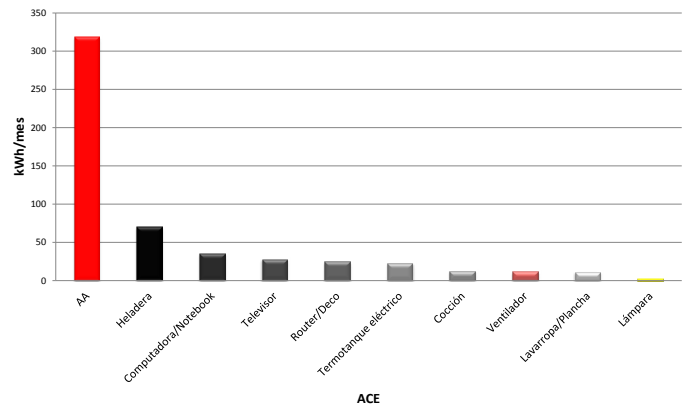


Figura 4. Consumo promedio por ACE en los casos de estudio. Fuente: Elaboración de los autores en base a Alonso Frank; Kuchen, 2017b.

| Nivel de eficiencia | Intervalo de puntuación |
|---------------------|-------------------------|
| A                   | ≥ 4,429 a ≤5,000        |
| B                   | ≥ 3,857 a <4,429        |
| C                   | ≥ 3,286 a <3,857        |
| D                   | ≥ 2,714 a <3,286        |
| E                   | ≥ 2,143 a <2,714        |
| F                   | ≥ 1,571 a <2,143        |
| G                   | ≥ 1,000 a <1,571        |

Tabla 3. Calificación del NEU en función del intervalo de puntuación. Fuente: Elaboración de los autores en base a Alonso Frank y Kuchen (2016) y Alonso Frank y Kuchen (2017a).

Alonso Frank y Kuchen (2016) y Alonso Frank y Kuchen (2017a), adaptado a 7 categorías de EE (Tabla 3).

El Grupo 1 posee una media de 2,80 (Calificación=D) (Desviación estándar=0,79; mediana de 2,66 (Calificación=E)), mientras que el Grupo 2 posee una media de 3,12 (Calificación=D) (Desviación estándar = 0,90; mediana de 3,14 (Calificación=D)).

La Tabla 4 expone la comparativa por percentiles de los NEU obtenidos. En el Grupo 1, el 20% de los habitantes encuestados posee una calificación F o menor; el 60%, una calificación D o menor; y el 80%, una calificación C o menor. En cambio, en el Grupo 2, el 40% de los habitantes encuestados posee una calificación E o menor; el 70%, una calificación C o menor; y el 90%, una calificación B o menor.

El análisis por percentiles revela que todas las puntuaciones del Grupo 2 son superiores a las del Grupo 1, tomando el Grupo 2 una mínima calificación de "E" y una máxima de "A".

| Puntuación  | Grupo 1      |            | Grupo 2      |            |   |
|-------------|--------------|------------|--------------|------------|---|
|             | Calificación | Puntuación | Calificación | Puntuación |   |
| Percentiles | 10           | 1,87       | F            | 1,93       | E |
|             | 20           | 2,10       | F            | 2,19       | E |
|             | 30           | 2,18       | E            | 2,29       | E |
|             | 40           | 2,34       | E            | 2,62       | E |
|             | 50           | 2,67       | E            | 3,14       | D |
|             | 60           | 3,15       | D            | 3,48       | C |
|             | 70           | 3,38       | C            | 3,73       | C |
|             | 80           | 3,61       | C            | 4,07       | B |
|             | 90           | 4,00       | B            | 4,28       | B |
|             | 100          | 4,34       | B            | 4,90       | A |

Tabla 4. Distribución por percentiles del NEU, por unidad habitacional y por grupo. Fuente: Elaboración de los autores.

| Percentiles | Consumo medio (kWh/mes) |         |         |
|-------------|-------------------------|---------|---------|
|             |                         | Grupo 1 | Grupo 2 |
| 10          | 177,99                  | 153,22  |         |
| 20          | 212,01                  | 197,42  |         |
| 30          | 287,58                  | 242,08  |         |
| 40          | 343,70                  | 311,77  |         |
| 50          | 422,33                  | 389,48  |         |
| 60          | 516,85                  | 441,61  |         |
| 70          | 621,71                  | 531,69  |         |
| 80          | 712,70                  | 670,49  |         |
| 90          | 1032,80                 | 996,01  |         |
| 100         | 1445,00                 | 1775,39 |         |

Tabla 5. Distribución por percentiles del consumo eléctrico en período cálido (kWh/mes), por unidad habitacional y por grupo. Fuente: Elaboración de los autores.

| Percentiles | Consumo medio (kWh/mes) |         |         |
|-------------|-------------------------|---------|---------|
|             |                         | Grupo 1 | Grupo 2 |
| 10          | 41,46                   | 20,52   |         |
| 20          | 71,06                   | 55,80   |         |
| 30          | 111,41                  | 83,52   |         |
| 40          | 184,35                  | 122,17  |         |
| 50          | 238,38                  | 195,00  |         |
| 60          | 298,64                  | 272,76  |         |
| 70          | 392,52                  | 348,72  |         |
| 80          | 495,72                  | 468,03  |         |
| 90          | 643,71                  | 729,07  |         |
| 100         | 1278,90                 | 1474,56 |         |

Tabla 6. Distribución por percentiles del consumo eléctrico de climatización en período cálido (kWh/mes), por unidad habitacional y por grupo. Fuente: Elaboración de los autores.

| Percentiles | Consumo medio (kWh/mes) |         |         |
|-------------|-------------------------|---------|---------|
|             |                         | Grupo 1 | Grupo 2 |
| 10          | 94,83                   | 105,92  |         |
| 20          | 107,77                  | 115,28  |         |
| 30          | 120,27                  | 121,69  |         |
| 40          | 137,05                  | 132,38  |         |
| 50          | 151,18                  | 143,36  |         |
| 60          | 177,14                  | 152,88  |         |
| 70          | 201,49                  | 165,61  |         |
| 80          | 255,10                  | 231,02  |         |
| 90          | 365,41                  | 304,76  |         |
| 100         | 796,95                  | 780,80  |         |

Tabla 7. Distribución por percentiles del consumo eléctrico de otros ACE en período cálido (kWh/mes), por unidad habitacional y por grupo. Fuente: Elaboración de los autores.

## CONSUMOS ELÉCTRICOS EN PERÍODO CÁLIDO, POR GRUPO.

### CONSUMO TOTAL POR EDIFICIO EN PERÍODO CÁLIDO

El Grupo 1 presenta una media de 510,64 kWh/mes (Desviación estándar = 337,45 kWh/mes; mediana de 422,33 kWh/mes), mientras que el Grupo 2, una media de 474,54 kWh/mes (Desviación estándar = 352,36 kWh/mes; mediana de 389,48 kWh/mes). La Tabla 5 exhibe la comparativa por percentiles de los consumos registrados. Se evidencia así que el Grupo 2 consume menos energía eléctrica, hasta el 90%.

### CONSUMO DE CLIMATIZACIÓN POR EDIFICIO EN PERÍODO CÁLIDO

El Grupo 1 presenta una media de 311,22 kWh/mes (Desviación estándar = 285,75 kWh/mes; mediana de 238,38 kWh/mes); en cambio, el Grupo 2 presenta una media de 292,44 kWh/mes (Desviación estándar = 313,07 kWh/mes; mediana de 195,00 kWh/mes).

La Tabla 6 grafica la comparativa por percentiles de los consumos registrados e indica, en concreto, que, hasta el 80%, el Grupo 2 consume menos energía eléctrica en climatización.

### CONSUMO DE OTROS ACE EN PERÍODO CÁLIDO (SIN CONSIDERAR LA CLIMATIZACIÓN).

El Grupo 1 manifiesta una media de 199,41 kWh/mes (Desviación estándar = 144,46 kWh/mes; mediana de 151,18 kWh/mes); en cambio, el Grupo 2, una de 182,09 kWh/mes (Desviación estándar = 125,17 kWh/mes; mediana de 143,36).

La Tabla 7 expone la comparativa por percentiles de los consumos registrados. Se advierte allí que el Grupo 2, desde el 30% hasta el 100%, consume menos energía eléctrica en otros ACE.

## CORRELACIONES CON LOS CONSUMOS TOTALES REGISTRADOS.

### NEU.

Para el caso del Grupo 1, se obtiene una correlación de Pearson de  $R=-0,757$ , esto es, una correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas), con un  $R^2=0,573$  (significación bilateral  $<0,0001$ ); mientras que para el Grupo 2, se obtiene una correlación de Pearson de  $R=-0,779$ , es decir, una correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas), con un  $R^2=0,607$  (significación bilateral  $<0,0001$ ) (Figura 5).

Se observa que, a medida que aumenta el NEU, disminuye el consumo y que, a medida que aumentan los niveles de consumo, disminuye el NEU. Ello demuestra que el consumo resultante guarda una correlación significativa con los hábitos del usuario en ambos Grupos.

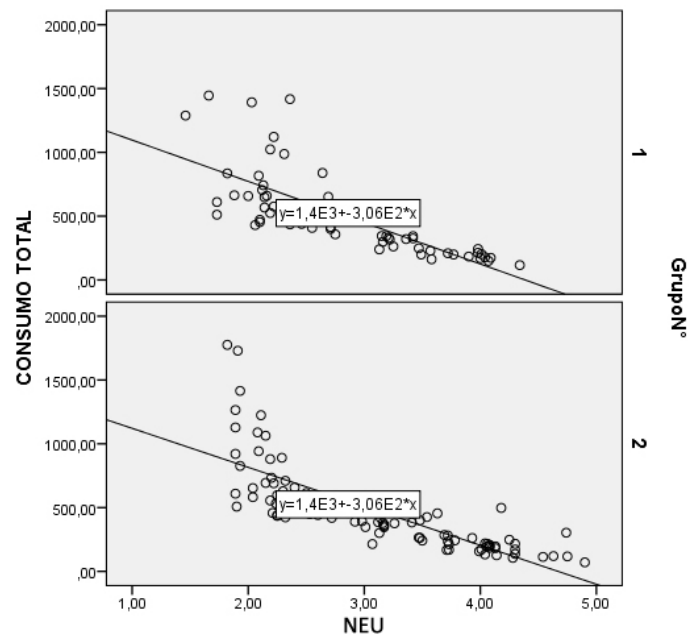


Figura 5. Correlación NEU – Consumo de energía eléctrica total en período cálido, por grupo. Fuente: Elaboración de los autores.

## CORRELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL PERIODO CÁLIDO – CONSUMO ELÉCTRICO DE CLIMATIZACIÓN PERIODO CÁLIDO Y CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL – CONSUMO ELÉCTRICO DE OTROS ACE.

En relación al estudio de la correlación entre consumo eléctrico total periodo cálido – consumo eléctrico de climatización periodo cálido, resulta, para el Grupo 1, una correlación de Pearson de  $R=0,906$ , con un  $R^2=0,820$ , esto es, una correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas) (significación bilateral  $<0,0001$ ). Mientras, para el Grupo 2, se obtiene una correlación de Pearson de  $R=0,936$ , con un  $R^2=0,876$ , o sea, una correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas) (significación bilateral  $<0,0001$ ) (Figura 8). Se evidencia que, a medida que aumenta el consumo de climatización, aumenta también el consumo total, de manera que este último está supeditado al consumo de climatización. Ello guarda relación con lo detallado en la Figura 6.

Respecto al estudio de la correlación entre consumo eléctrico total periodo cálido – consumo eléctrico de otros ACE, se calcula, para el Grupo 1, una correlación de Pearson de  $R=0,545$ , con un  $R^2=0,297$ , es decir, una correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas) (significación bilateral  $<0,0001$ ). Para el Grupo 2, resulta una correlación de Pearson de  $R=0,474$ , con un  $R^2=0,225$ , lo que representa una correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas) (significación bilateral  $<0,0001$ ) (Figura 7). Si bien se aprecia una mayor dispersión de los datos, se tiende a un aumento de consumo de otros ACE, a medida que aumenta el consumo total.

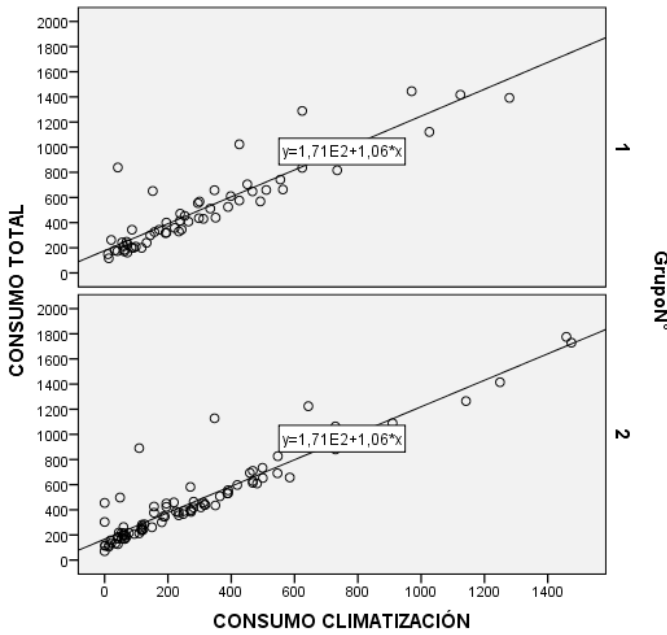


Figura 6. Correlación consumo eléctrico total - consumo eléctrico climatización, por unidad habitacional y por grupo.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

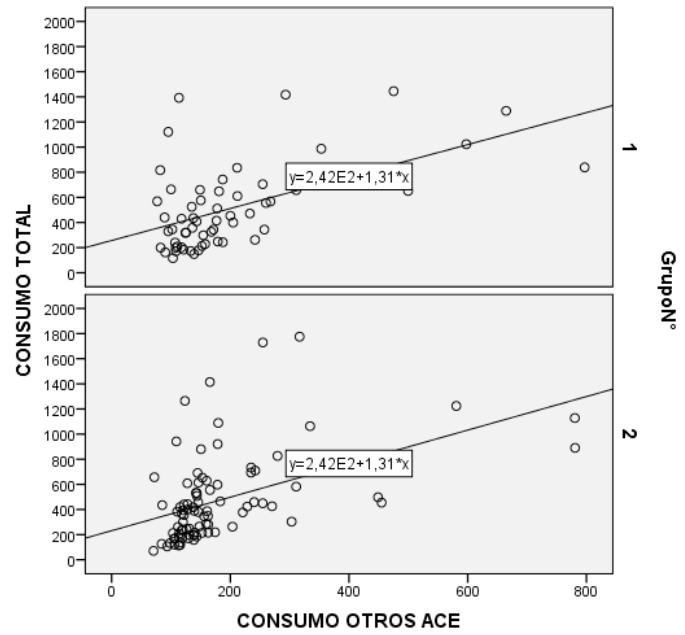


Figura 7. Correlación consumo eléctrico total - consumo eléctrico de otros ACE, por unidad habitacional y por grupo.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

### VARIACIONES DE CONSUMOS POST-INTERVENCIÓN.

A partir de los datos provistos por el EPRE (2017), se efectúa un análisis de las variaciones de consumos de los últimos cuatro años (Figura 8). Consecuentemente, se advierte, para el Grupo 1, un constante aumento del consumo medio en el período de estudio; mientras que para el Grupo 2, un importante decrecimiento en el verano 2017, lo cual guarda correlación con la hipótesis de que el comportamiento del usuario, en relación a las estrategias (pasivas y/o activas) que emplea para satisfacer su condición de confort, incide en el rendimiento energético y que su nivel de conocimiento sobre el URE influye también en los hábitos del mismo.

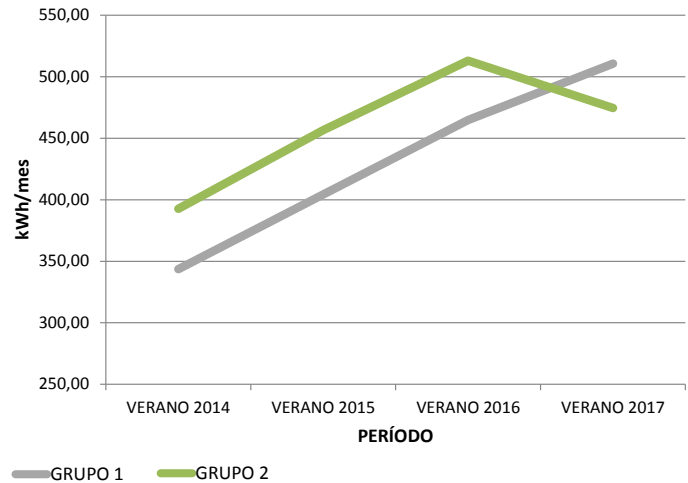


Figura 8. Variaciones de consumos de energía eléctrica por grupo. Período 2014-2017.  
 Fuente: Elaboración los autores en base a EPRE (2017).

### CONCLUSIONES

Los casos aquí estudiados exhiben una fuerte correlación estadística entre el NEU y el Consumo Eléctrico. En tal sentido, destaca que el consumo medio, en período cálido, de los edificios del "Grupo no informado" (Grupo 1) aumenta progresivamente, mientras que en el "Grupo informado" (Grupo 2) presenta una notable disminución, luego de la intervención. La significancia estadística es en todos los casos inferior a 0,001, motivo por el que se hace patente que las conclusiones descriptas son representativas por contar con un nivel de confianza de los datos superior al 99,9%. De esta manera, el trabajo expone que, independientemente de las características físicas de los edificios, los niveles de consumo dependen del nivel de conocimiento de estrategias URE que poseen

los habitantes. Ello conlleva a la necesidad de considerar efectivamente el comportamiento de los habitantes como un punto clave para la reducción del consumo energético edilicio y consiguiente aumento de la EE resultante. Estos avances serán presentados a la Secretaría de Estado del Gobierno local, para su implementación. El presente estudio representa un aporte a la sustentabilidad del hábitat, en tanto la aplicación de la herramienta metodológica conduce a un uso responsable de los recursos energéticos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA-AIE [en línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/>

ALFARO, Rosa María. *Una comunicación para otro desarrollo: para el diálogo entre el norte y el sur*. Lima: Calandria, 1993.

ALONSO FRANK, Alción y KUCHEN, Ernesto. Desarrollo de una herramienta para validar la influencia del comportamiento del usuario sobre la eficiencia energética en edificios públicos de oficinas. *Revista Hábitat Sustentable*, 2016, vol. 6, n° 2, pp. 63-69.

ALONSO FRANK, Alción y KUCHEN, Ernesto. Validación de la herramienta metodológica de Alonso Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan-Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 2017a, vol. 7, n° 1, pp. 6-13.

ALONSO FRANK, Alción y KUCHEN, Ernesto. Estado del uso de artefactos de consumo de energía eléctrica en período cálido en edificios residenciales en altura en la Ciudad de San Juan - Argentina. En: *Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2017b, vol. 5, pp. 07.13-07.20, 2017.

CAMPBELL, Donald y STANLEY, Julian. *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Chicago, IL: Rand McNally, 1966. (Traducción española: Amorrortu, Buenos Aires, 1973).

CHÉVEZ, Pedro. *Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas Doctorado en Ciencias - Área Energías Renovables, 2017.

COOK, Thomas y CAMPBELL, Donald. *Quasi-experimentation. Design and analysis issues for field settings*. Chicago, IL: Rand McNally, 1979.

ENBOP. Energie Betriebsoptimierung [en línea], 2008. Disponible en: <http://www.enob.info>

ENTE PROVINCIAL REGULADOR ELÉCTRICO - EPRE. *Consumo energético anual 2015-2017*. 2017.

GALLEGO TORRES, Adriana y CASTRO MONTAÑA, John. Sobre el rol innovador de la educación energética para la investigación en ingeniería. *Ingeniería*, 2014, vol. 19, n° 2, pp. 147-163.

GAMBARA, Hilda. *Métodos de Investigación en psicología y Educación. Cuaderno de prácticas*. Madrid: Ed. McGraw-Hill, 2002.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la Investigación*. México: Ed. McGraw-Hill, 1991.

KUCHEN, Ernesto. *Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäuden*. Tesis de doctorado. Der Andere Verlag, S. 203, Tönning, Deutschland, 2008.

KURBÁN, Alejandra. Dimensión: urbano-ambiental. Ambiente Socialmente Construido. *Plan de Ordenamiento Territorial para el Área Metropolitana de San Juan PLAM-SJ*. Programa de

fortalecimiento institucional de la subsecretaría de planificación territorial de la inversión pública. Segundo informe – Mayo 2012.

KURBÁN, Alejandra. *Cuantificación del confort bioclimático de los espacios verdes urbanos*. Capítulo II de Tesis de doctorado en Arquitectura y Urbanismo: Verde Urbano. Contribución Bioclimática a la sustentabilidad de Ambientes Áridos. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, 2016.

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

MELTZOFF, Julian. *Crítica a la investigación. Psicología y campos afines*. Madrid: Alianza Editorial, 2000.

MONTERO, Ignacio y LEÓN, Orfelio. Clasificación y descripción de las Metodologías de investigación en Psicología. *Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud*, 2002, vol. 2, n° 3, pp. 503-508.

NORMA IRAM 11603-Instituto Argentino de Normalización y Certificación: *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, 1996.

PUPO, Lorenzo y PÉREZ, Alí Osmán. La educación de actitudes de ahorro de energía a través de las ciencias naturales. *De Educación e Enerxía propostas sobre a Educación Enerxética e o Desenvolvemento Sostible*, Santiago de Compostela, 2005.

RIAVITZ, Luis; ZAMBON, Humberto y GIULIANI, Adriana. La matriz energética argentina y la restricción externa. *Cuadernos de Investigación. Serie Economía*, 2015, n° 5, pp. 110-141.

RISUELO, Fernando. *Certificados de eficiencia energética en edificios. Resumen ejecutivo*. Buenos Aires: FODECO, 2010.

SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN - SEN. *Eficiencia Energética: Programas* [en línea]. Disponible en: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=4040>

STATISTICS EXPLAINED. *Electricity price statistics/es* [en línea]. Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/>

TROCHIM, William. *Los métodos de investigación de la base de conocimientos*. Atomic Dog, 2006.

VILLARREAL, Fernando y BUSTOS, Iván. Planificación crecimiento del sistema de 132 kV y 33 kV de la provincia de San Juan período 2014 – 2020. En: *Congreso Internacional de Distribución Eléctrica CIDEL Argentina*, 2014.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al MINCyT (Ministerio de Ciencia y la Tecnología de la Nación Argentina), al CONICET (Consejo 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.

