

# **Simulación del comportamiento energético de edificios en entornos urbanos**

## **Energy performance simulation of buildings in urban environments**

Massimo Palme  
Universidad Católica del Norte, Escuela de Arquitectura  
Av. Angamos 610, 124000 Antofagasta, Chile  
[mpalme@ucn.cl](mailto:mpalme@ucn.cl)

Agnese Salvati  
Oxford Brookes University  
London, UK  
[asalvati@brookes.ac.uk](mailto:asalvati@brookes.ac.uk)

Claudio Carrasco  
Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería  
Valparaíso, Chile  
[Claudio.carrasco@uv.cl](mailto:Claudio.carrasco@uv.cl)

**Manuscript Code:** XXX (esto no debe llenarse)

**Date of Acceptance/Reception:** XX.XX.2018/XX.XX.2018 (esto no debe llenarse)

### **Abstract**

This research describes a methodology to include the urban environment in the building performance simulation. By using the Urban Weather Generator urban weather data are obtained, than a model to consider shadows and infra-red environment is designed and building performance simulation is conducted in TRNSYSv. 17. Results show that building performance simulation is optimized by the inclusion of the different effects of the urban environment: shadows balances the temperature increase caused by urban heat island y the infra-red environment finishes defining exactly the energy needs of buildings in an urbanized environment.

**Keywords:** Urban heat island, Building performance simulation, Shadows modeling

## **Resumen**

Este artículo presenta una metodología para incorporar el entorno urbano en la simulación de desempeño de edificios. A través de la herramienta Urban Weather Generator se obtienen datos climáticos urbanos, luego se diseña un modelo que pueda tener cuenta de sombras y modificaciones en los intercambios radiantes del entorno para ser simulado en TRNSYS v.17. Los resultados muestran que la simulación se optimiza considerando los diferentes efectos del entorno urbano: las sombras balancean el aumento de temperatura debido a la isla de calor y el entorno radiante acaba definiendo con más exactitud las demandas de energía de los edificios en un entorno urbanizado.

**Palabras claves:** Isla de calor, Simulación energética de edificios, Modelos de sombras

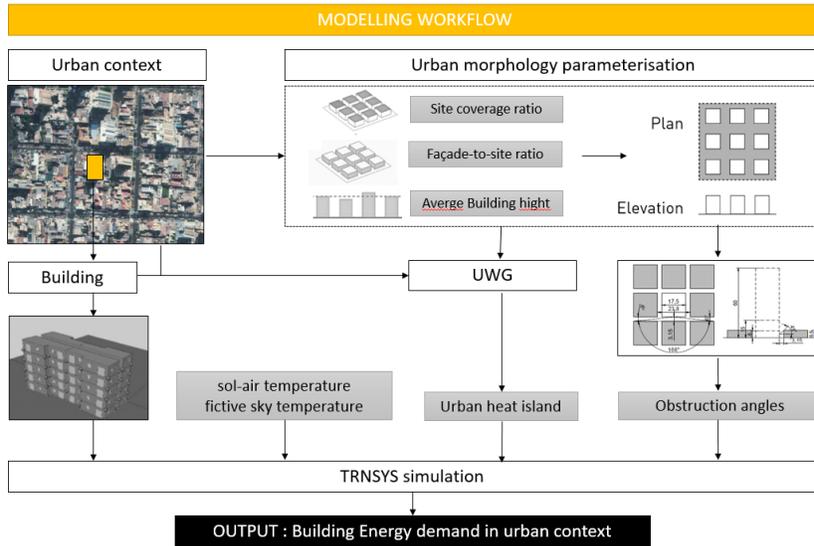
## **Introducción**

La incorporación de la isla de calor en las simulaciones del comportamiento energético de los edificios ha sido uno de los tópicos más importantes de los últimos años para la comunidad de la simulación de edificios (Palme et al. 2017; Reinhart y Davila, 2016). La simulación urbana, como campo relativamente nuevo de aplicación, pone sin embargo problemas más complejos que la simulación del comportamiento de edificios. En general, existen dos enfoques para simular entornos urbanos: uno *top-down* y uno *bottom-up* (Kavgic et al. 2010; Li et al. 2017). Con el enfoque *top-down* se consideran grupos enteros de edificios como una sola entidad energética, mientras que con el enfoque *bottom-up* se construyen escenarios energéticos urbanos a partir de simulaciones sobre edificios de referencia. En este último caso, se requiere de una estrategia estadística para poder escalar los resultados desde el edificio a la ciudad o barrio. Para poder realizar simulaciones en entornos urbanos, es necesario como primer paso obtener unos datos meteorológicos que representen tal entorno. Una de las herramientas que ha sido utilizada para tal finalidad es el software Urban Weather Generator, que acopla un simulador atmosférico con un simulador de edificios para obtener unos files en formato .epw del clima urbano. Sin embargo, los datos obtenidos a través de UWG dan cuenta solamente de una parte de los efectos de la urbanización, en lo específico modifican la temperatura y la humedad del aire en fichero climático. Otros factores muy importantes, como el entorno radiante en términos de sombras frente a la radiación solar y de superficies de intercambio infra-rojo, no son modificados por la herramienta. En este trabajo se presenta una metodología para tomar en cuenta estos efectos y los resultados de la aplicación a dos casos de estudio en la ciudad de Antofagasta y Valparaíso.

## Metodología

En este artículo, se presenta una metodología de cálculo de las influencias del ambiente urbano sobre el comportamiento energético de edificios que se articula en 4 pasos: 1) generación de clima urbano con UWG; 2) generación de mascarar de sombras; 3) estimación de las temperaturas del entorno radiante; 4) simulación con TRNSYS del comportamiento del edificio. La figura 1 resume el esquema general del trabajo.

Figura 1. Marco metodológico general



## Generación de los datos de clima urbano

UWG necesita de muchos parámetros de entrada para poder realizar su cálculo. Entre ellos, los más importantes son: 1) los datos relativos a la forma urbana; 2) los datos de absorción y emisividad superficial de los materiales; 3) los datos relativos a la generación de calor directa en los entornos urbanos, básicamente por los vehículos. Este trabajo utiliza una estrategia de observación remota con sistemas de información geográfica (SIG) para estimar los parámetros urbanos y la materialidad de los entornos a considerar. Los parámetros urbanos que deben ser cuantificados con precisión son:

- Superficie construida en el entorno
- Relación de fachada desarrollada respecto a la superficie del entorno
- Altura media de los edificios

Las ecuaciones para determinar la superficie construida y la relación de fachada son las siguientes:

$$S = \frac{\sum A_{edificios}}{A_{sitio}} \quad (1)$$

$$F = \frac{\sum Perimetro \times h_{media\ pesada}}{A_{sitio}} \quad (2)$$

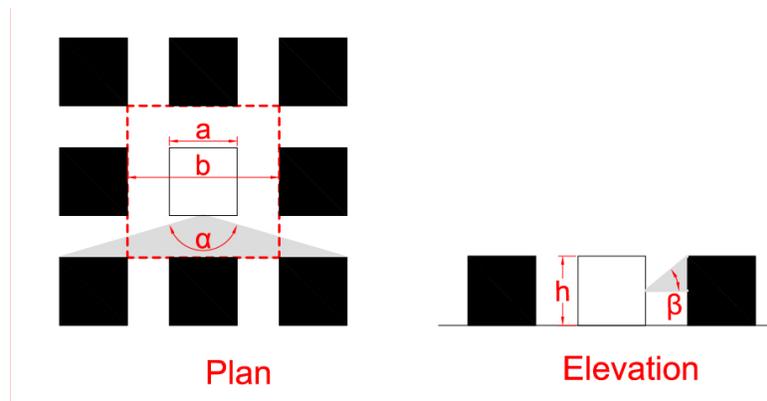
### Máscaras de sombra entre edificios

A partir de los valores de S y F calculados anteriormente, se construye un entorno de sombra representativo. Para insertar en TRNSYS la máscara de sombra, se necesitan dos ángulos: uno de elevación y el otro acimutal. Estos dos ángulos se obtienen a partir de las relaciones entre ancho de los edificios y de las calles (en un entorno de retícula regular a base cuadrada) y alturas, según las siguientes ecuaciones:

$$S = \frac{a^2}{\left(\frac{a+b}{2}\right)^2} \quad (3)$$

$$F = \frac{4a \times h_{media\ pesada}}{\left(\frac{a+b}{2}\right)^2} \quad (4)$$

Figura 2. Obtención de los ángulos de elevación y acimut



### Entorno infra-rojo

La incorporación de las sombras entre edificios no resuelve el problema de forma exhaustiva. La presencia de estas barreras seguramente evita la absorción de cierta cantidad de radiación, sin embargo tiene también otro efecto: pone como superficie de intercambio de onda larga las paredes de los mismos edificios, que van a sustituir la que en un entorno rural sería una combinación al 50% de cielo y terreno. Las paredes de los edificios se encuentran a una

temperatura que es seguramente muy superior a la temperatura ficticia del cielo, por lo tanto al tomar en cuenta las sombras sin más cambios en el modelo se estaría sobrestimando la reducción de carga térmica del edificio en objeto. Para calcular la temperatura de intercambio radiante, se puede utilizar la aproximación de considerar suelo y superficies verticales como en equilibrio, por lo tanto se deberá evaluar una única temperatura de intercambio (a parte la del cielo). Para ello se utilizan las fórmulas siguientes para el caso urbano y rural respectivamente:

$$T_{suelo} = T_{ambiente\ urbano} + 0.2 \times \alpha \times I_H \times fvc \quad (5)$$

$$T_{suelo} = T_{ambiente} + \frac{\alpha \times I_H - 100 \times \varepsilon \times (1 - C)}{9.42 + 3.68 \times v} \quad (6)$$

En donde:

- $\alpha$  es el coeficiente de absorción solar
- $\varepsilon$  es la emisividad infra-roja
- $I_H$  es la radiación horizontal incidente
- $C$  es el porcentaje de cielo cubierto
- $fvc$  es el factor de vista de cielo
- $v$  es la velocidad del viento

### Simulación del desempeño del edificio

La simulación de desempeño del edificio se ha realizado en dos tipologías de edificios residenciales: una casa apareada y un edificio de departamentos de cinco pisos. La tabla resume los valores asignados a las principales propiedades de los materiales y los porcentajes de superficie transparente de las fachadas.

Table 1. Parámetros de materiales

	<b>Muro</b>	<b>Piso</b>	<b>Techo</b>	<b>Ventana</b>
U (W/m <sup>2</sup> K)	2.15	1.79	0.48	5.81
h <sub>e</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	25	0	25	25
h <sub>i</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	8	6	10	8
M (kJ/m <sup>3</sup> )	1400	1400	950	80
$\alpha$ (solar)	0.6	0.6	0.4	/
$\varepsilon$ (infra-red)	0.9	0.9	0.9	/
g-value	/	/	/	0.85
	<b>Casa pareada</b>		<b>Edificio de departamentos</b>	
Porcentaje ventana	16%		32%	

Tabla 2. Parámetros de simulación

<b>Solar protection</b>	<b>Cooling set-point</b>	<b>Lighting</b>	<b>Gains</b>
70%	26 °C	10 W/m <sup>2</sup>	5 W/m <sup>2</sup>
<b>People</b>	<b>Lighting schedule</b>	<b>Activity</b>	<b>Occupancy schedule</b>
25 m <sup>2</sup> /person	18-24	1 Met	0-24

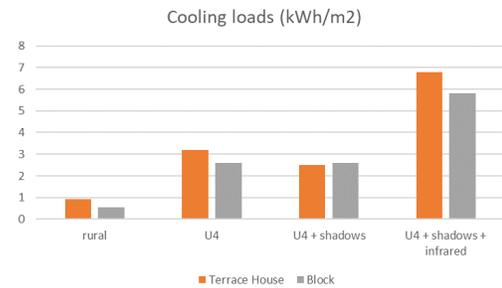
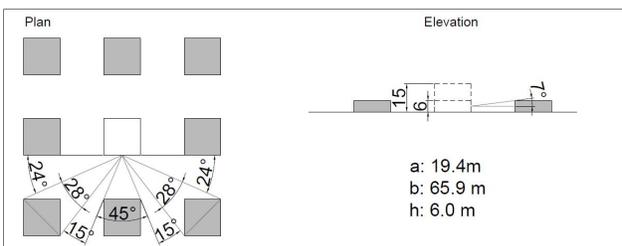
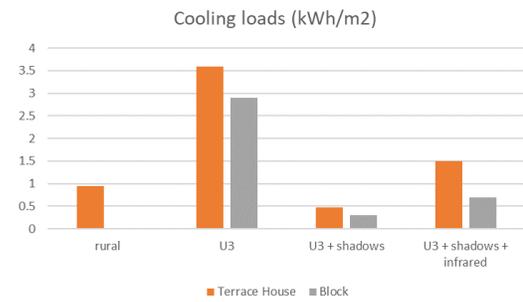
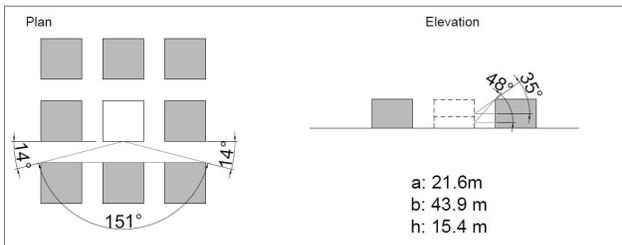
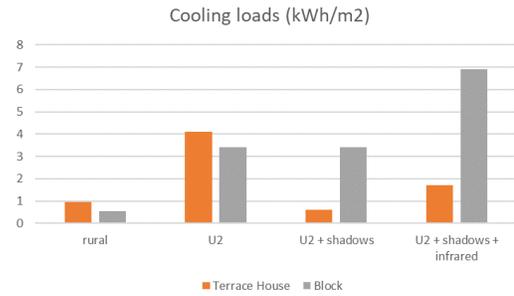
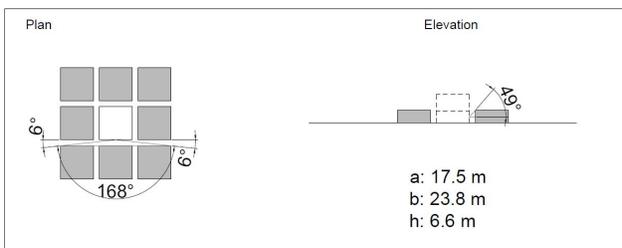
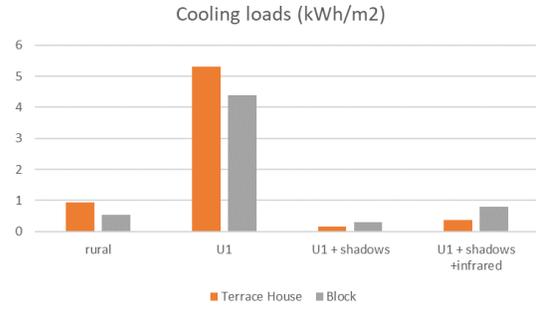
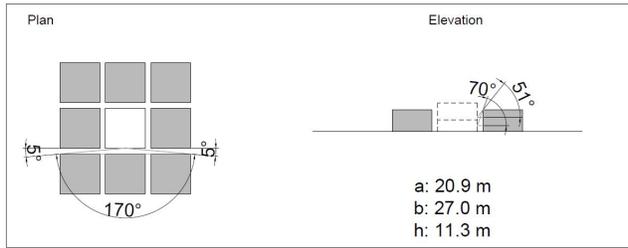
Tabla 3. Características de los sectores analizados

<b>Urban morphology</b>	<b>Built-up area</b>	<b>Façade to site ratio</b>	<b>Average height</b>
Case 1	0.76	1.65	11.3
Case 2	0.69	0.81	6.6
Case 3	0.42	2.06	15.4
Case 4	0.23	0.32	6.0

## Resultados

Los resultados obtenidos por los diferentes casos de estudio analizados muestran que la utilización de los archivos climáticos modificados generados por herramientas como UWG de por sí solos pueden conducir a una estimación equivocada de la demanda de refrigeración de los edificios. Esto principalmente debido a la presencia de sombras que reducen la ganancia solar y por lo tanto balancean el efecto del aumento de temperatura debido a la isla de calor. Sin embargo, la incorporación de las sombras en la simulación TRNSYS puede conducir al efecto contrario: la estimación de la reducción de ganancia térmica no tiene directamente en cuenta que las sombras generan un aumento en la temperatura radiante porque bloquean el sol pero también reducen el factor de vista del cielo. La utilización de ecuaciones que calibren el entorno radiante se vuelve una necesidad. En la mayoría de los casos, los resultados finales conducen a valores de demanda de refrigeración intermedios entre los estimados por aumento de temperatura del ambiente y los que reducen las ganancias solares. Cabe destacar que en alguna situación específica, como por ejemplo el caso 4, en donde las sombras no son muy profundas porque el entorno no es muy denso, la modificación del ambiente radiante genera un aumento general de las demandas, por encima de los valores obtenidos considerando solamente el aumento de temperatura urbana.

Figura 3. Modelos para sombras y resultados de demanda para los 4 casos estudiados



## Discusión y Conclusiones

Este trabajo ha presentado una metodología para la optimización de simulaciones de desempeño de edificios en entornos urbanos, considerando como elementos fundamentales: la generación de datos modificados por la isla de calor; la generación de un entorno de sombra a la radiación solar; la modificación de las temperaturas del ambiente radiante que circunda el edificio a simular. La metodología utiliza una parametrización de sectores reales de una ciudad a través de sistemas de análisis geográfica. Estos parámetros son tratados hasta obtener la generación de un entorno representativo de la realidad, como típicamente sucede en los modelos bottom-up. Los resultados de la aplicación a los primeros casos de estudio confirman la idea inicial de la importancia de construir esquemas para tomar en cuenta todas las modificaciones en el clima introducidas por el entorno urbano. La necesidad de reducir determinadas complejidades hace que el proceso de optimización no sea todavía completo, futuras mejoras en el modelo podrían incluir: 1) una más fina estimación de la temperatura del entorno radiante como media pesada de las superficies que lo constituyen con sus propiedades y factores de vista específicos; 2) un cálculo de la influencia de las brisas en las temperaturas superficiales de los entornos urbanos; 3) un cálculo de la aportación directa de calor debido a actividades humanas sobre base horaria.

## Referencias

- Kavgic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., & Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), 1683–1697. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>
- Li, W., Zhou, Y., Cetin, K., Eom, J., Wang, Y., Chen, G., Zhang, X. (2017). Modeling urban building energy use: A review of modeling approaches and procedures. *Energy* 141, 2445-2457.
- Masson, V. (2000). A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteorology*, 94(3), 357–397. <https://doi.org/10.1023/A:1002463829265>.
- Palme, M., Inostroza, L., Villacreses, G., Lobato, A., Carrasco, C. (2017). From urban climate to energy consumption: Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect. *Energy and Buildings* 145,
- Palme, M.; Inostroza, L., Villacreses, G., Lobato, A., Carrasco, C. (2017). Urban weather data and building models for the inclusion of the urban heat island effect in building performance simulation. *Data in brief* 14,
- Reinhart, C. and Davila, C. (2016). Urban building energy modeling – A review of a nascent field. *Building and Environment* 97, 196-202