

FACTOR DE CIELO VISIBLE Y EL EFECTO ISLA DE CALOR EN VALPARAISO¹

26

SKY VIEW FACTOR AND THE HEAT ISLAND EFFECT IN VALPARAISO

CLAUDIO CARRASCO ²
MASSIMO PALME ³
MIGUEL ANGEL GÁLVEZ ⁴

- ¹ Este trabajo es parte de los resultados de los proyectos de investigación financiados por la Dirección de Investigación de la Universidad de Valparaíso: "40/2005, Estudio y modelación del microclima en los tejidos urbanos patrimoniales de la ciudad de Valparaíso"; "52/2013, El sistema de plazas del plan de Valparaíso: valor de la vegetación en el escenario cultural de la ciudad" y "53/2013, Clima urbano y planificación urbana. Incidencia de los seccionales de planificación urbana en el clima de Valparaíso y en el confort ciudadano".
- ² Director del Magíster en Desarrollo Regional y Medioambiente U. De Valparaíso, Escuela de Graduados, Facultad de Arquitectura; Escuela de Construcción Civil, Facultad de Ingeniería. Universidad de Valparaíso, Chile. claudio.carrasco@uv.cl
- ³ Director de Magíster en Arquitectura, Escuela de Arquitectura, Universidad Católica del Norte, mpalme@ucn.cl
- ⁴ Profesor del Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Federico Santamaría, miguel.galvez@usm.cl

DOI: <https://doi.org/1022320/07183607.2016.19.34.3>

La forma urbana transforma el territorio y su comportamiento climático. La morfología de la ciudad varía desde sus centros hasta su periferia, así como también varía en densidad poblacional, en el uso temporal de las edificaciones, en la presencia o ausencia de vegetación o en la densidad de transporte. Estas variables condicionan el comportamiento térmico del espacio público. A partir de la consideración de la visibilidad del cielo desde el cañón urbano se define el SVF (Sky View Factor), que está relacionado con el almacenamiento térmico y la ventilación del espacio de la calle. Ambas variables son fundamentales en el confort peatonal y en el calentamiento de la ciudad. En este trabajo se presentan desempeños climáticos asociados a la morfología de la ciudad de Valparaíso, ubicada en un clima mediterráneo costero. Se realizaron mediciones climáticas simultáneas en diversos lugares de la ciudad que se correlacionaron con parámetros geométricos y materiales de los lugares registrados. Se determina una estrecha relación entre morfología urbana, comportamiento térmico del espacio público y aumento de la temperatura favoreciendo el fenómeno de isla de calor (UHI). Estos valores permitirían predecir en forma más precisa las condiciones climáticas en el nivel de calle y la manera cómo afecta en el fenómeno urbano de isla de calor (UHI).

Palabras clave: Isla de Calor, Clima, Morfología Urbana, Trama Urbana, Planificación Urbana

Urban form transforms territory and its climatic behavior. The morphology of a city varies from its centers to its periphery, as do population density, the temporal use of buildings, the presence or absence of vegetation and transport density. These variables condition the thermal behavior of public spaces. Sky View Factor (SVF) is defined by taking into account sky visibility from an urban canyon, which is related to the thermal storage and ventilation of street space. Both variables are key to pedestrian comfort and city warming. This paper presents climate performance data associated with the morphology of the city of Valparaíso, which has a coastal Mediterranean climate. Simultaneous climate measurements were taken in different parts of the city. These were then correlated with the geometric and material parameters of the locations studied. A close relationship was found between urban morphology, the thermal behavior of public spaces and an increased temperature favoring the urban heat island phenomenon (UHI). This data would make it possible to more accurately predict street level climate conditions and how they affect the UHI.

Keywords: heat island, climate, urban morphology, urban fabric, urban planning

INTRODUCCIÓN

Los cambios de usos del suelo, de morfología y de materiales del ambiente construido son algunos de los resultados de los procesos de urbanización causados por el aumento de población urbana y considerados incidentes en el cambio climático. Actualmente, más del 50% de la población del mundo vive en ciudades y para el año 2050 se espera que sea el 70 % (United Nations, 2010). El entorno edificado y el contexto urbano influyen sobre el microclima local, sobre los consumos de energía y sobre el bienestar de los habitantes de la ciudad. Esto se ha visto reflejado en el aumento de temperatura y de ondas de calor sobre ciudades europeas y de Estados Unidos principalmente (Davis et. al., 2004), lo que finalmente conlleva el aumento de consumo de energía en refrigeración (Santamouris, Argiriou y Papanikolaou, 1996).

Los procesos termodinámicos del clima en la ciudad dependen de diferentes factores (Cleugh y Oke 1986; Grimmond y Oke, 1995; Isalgué, Roset y Coch, 1998; Roth y Oke, 1995; Christen et al., 2002a; 2002b; Busato Lazzarin y Noro 2014) originados en la forma y materiales de la ciudad y en el proceder de sus habitantes, que son determinantes en el comportamiento del microclima en el espacio urbano y, en particular, de calles o cañones urbanos y favorecen el fenómeno de isla de calor (UHI) (Grimmond y Oke, 1999).

El cañón urbano, que por forma disminuye la ventilación y el enfriamiento radiativo nocturno, mantiene altos niveles de temperatura del aire durante la noche, especialmente en aquellos espacios exteriores conformados entre edificios de oficinas o comerciales (Kikegawa, Ohashi y Kondo, 2007). La obstrucción solar por el perfil del cañón produce enfriamiento del aire durante el día debido a que la radiación llega de manera distinta a cada superficie dependiendo de la orientación, geometría y de la visibilidad que cada una tenga respecto de la dirección de la radiación (Voogt y Krayenhoff, 2005). Si hay baja visibilidad de cielo (mayor relación H/W) hay menor variación diaria de temperatura (Ali-Toudert y Mayer, 2006) y, a medida que aumenta, el cañón presenta mayor variación (Gál, Lindberg y Unger, 2008). Además, una mayor visibilidad de cielo, favorece una mayor ventilación. Es característico también la disminución del albedo global de la calle (Akbari y Konopacki, 2005) y el calentamiento del aire durante el día y la noche, lo que en algunos estudios señalan que el aumento de superficies vegetales generaría un efecto contrario (Susca, Gaffin, & Dell'Osso, 2011; Takebayashi & Masakazu, 2007). La generación de calor producto de la actividad en el interior de los edificios, se disipa en el aire de la calle, provocando un calentamiento del aire durante el día y la noche. Estas fuentes antropogénicas de calor actuales aumentan los requerimientos de climatización en los edificios al estar relacionados de manera importante ambos factores: microclima urbano y climatización (Bozonnet, Belarbi & Allard, 2006). Los nuevos espacios de trabajo, los sistemas de oficinas, los ordenadores, etc., así como el calor antropogénico

que se libera de la combustión de los combustibles fósiles, ya sea desde fuentes móvil o desde fuentes fijas y que se dan en mayor medida en los centros urbanos, favorecen estas dinámicas. El almacenamiento térmico y la ventilación del espacio de la calle, son variables fundamentales en el confort peatonal, ahorro energético de las edificaciones y en el calentamiento de la ciudad (Kolokotronia et al., 2012).

El objetivo de este trabajo es relacionar los fenómenos de comportamiento térmico del clima y del microclima urbano con la variable morfológica de la ciudad edificada, donde el uso del espacio público cobra un alto valor cultural.

CASO DE ESTUDIO

Valparaíso es una ciudad en crecimiento que, por un lado, desarrolla nuevos tejidos en su expansión urbana sobre el territorio y, por otro lado, desarrolla un proceso de densificación del actual tejido urbano, especialmente en el sector de El Almendral. La ciudad se compone en su periferia de edificaciones de viviendas, principalmente de baja altura: (1 ó 2 pisos de 3 a 5 m) y un perímetro de vegetación en el borde superior de los cerros a su alrededor. En la parte baja o *plan*, la ciudad está totalmente urbanizada, con cobertura altamente mineralizada y con edificaciones de alturas sobre los 12 m llegando a más de 40 m en sectores cercanos al mar y presenta pequeños espacios de vegetación en algunas plazas.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Como metodología general se considera el estudio del clima de la ciudad de Valparaíso para determinar la existencia del fenómeno *isla de calor*. Una vez definido este fenómeno, se estudia en particular aquella zona de la ciudad que presenta de manera más evidente su participación en este fenómeno.

Etapa 1: Metodología

Se estudia el clima general de la ciudad de Valparaíso y la posible existencia del fenómeno de isla de calor, de acuerdo a la metodología de transectos urbanos (Vide y Moreno, 1990); se considera valor referencial de temperatura del aire el valor que se registra en la estación meteorológica de la Universidad Técnica Federico Santa María. Se registra la temperatura del aire en tres recorridos de un largo aproximado de 5 km cada uno en el mes de agosto 2007 (invierno) en tres momentos del día: la mañana (10,30 h), la tarde (14,00 h) y la noche (20,00 h). Estos recorridos dan cuenta de la diversidad topográfica y morfológica de la ciudad y se distinguen en la figura 1.



Figura 1 Imagen de la diversidad de condiciones morfológicas edificadas y topográficas de la ciudad.
Fuente: elaboración propia.

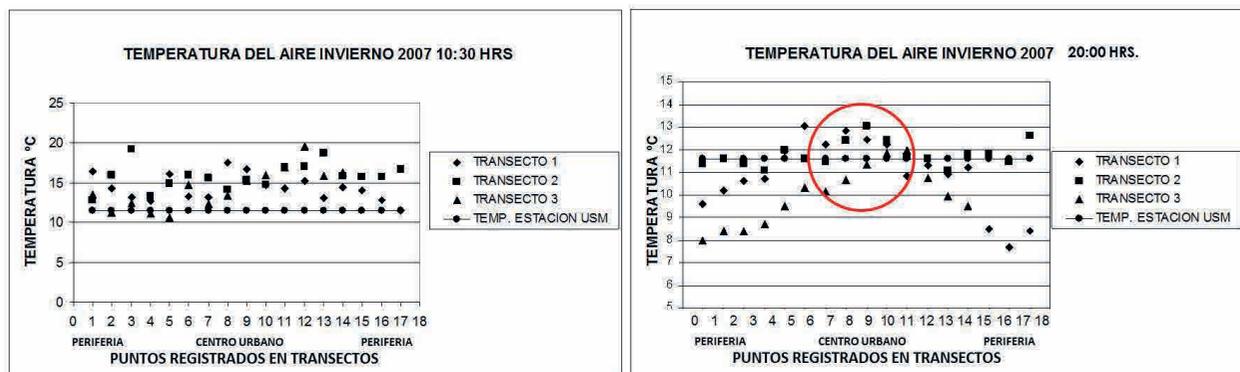


Figura 2 Izq. Registro de temperatura del aire en transecto 10:30 hrs. Der. Registro de temperatura del aire en transecto 20:00 hrs. Se encierra en círculo los puntos de mayor temperatura en el periodo nocturno, que se corresponde con la zona del plan de mayor densidad de edificación.
Fuente: elaboración propia.

Etapas 1: Resultados

A las 10,30h de la mañana se constata una alta dispersión de temperatura del aire entre los puntos registrados, siendo la temperatura general de los puntos de los transectos mayor que la de la estación meteorológica de referencia. Se observa que aquellos espacios más abiertos presentan mayor variación de temperatura y los espacios orientados al noreste presentan mayor temperatura durante la mañana. Existe una mayor temperatura de superficie cuando el terreno tiene una orientación hacia el noreste y cuando tiene una mayor pendiente. A las 14,00 h se constata una variación de estas temperaturas quedando en un estado de entorno del valor

registrado en la estación meteorológica de referencia. Al anochecer, sobre las 20,00 h, se observa una dispersión de la temperatura del aire más homogénea y un comportamiento climático que refleja la existencia del fenómeno de isla de calor en la ciudad a saber: Se distingue una menor temperatura en la periferia y zonas topográficas más altas y una mayor temperatura en las zonas ubicadas en el plan de la ciudad. La temperatura del aire durante el transecto es mayor en la zona de mayor densidad edificada (zona bancaria y de oficinas) y en la zona de mayor actividad urbana (zona bancaria y de oficinas). Se distinguen diferencias de temperatura de hasta 5 °C entre el centro urbano y la periferia (Figura 2).

5 Se observa una alta dispersión de temperatura del aire entre los puntos registrados, siendo la temperatura general de los puntos registrados, mayor que la de la estación meteorológica de referencia.

6 Se observa una dispersión de la temperatura del aire más homogénea y un comportamiento climático que refleja la existencia del fenómeno de isla de calor. Se encierra en círculo los puntos de mayor temperatura en el periodo nocturno, que se corresponde con la zona del plan de mayor densidad de edificación.

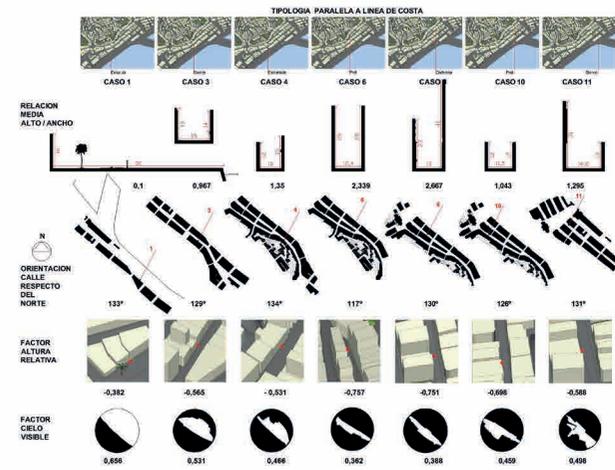
VARIABLE DE CARACTERIZACION	DESCRIPCION ZONA CENTRO VALPARAISO (SECTOR BANCAR) ⁽¹⁰⁾
EMPLAZAMIENTO Y TOPOGRAFÍA	Mínima pendiente. Orientación Nororiente.
CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICA GENERAL	Geométrico. Irregular en sección a lo largo de sus Cañones Urbanos. Calles orientadas Paralelas y Perpendiculares a la línea de costa.
ORIENTACIÓN TRAMA URBANA (promedio //s y ⊥s al mar)	//s : 128° respecto al norte ⊥s : 37° respecto al norte
USO PRINCIPAL	Oficinas -Comercio - Habitacional

Tabla 1 Caracterización general de la zona de estudio (⊥s = perpendiculares; //s = paralelas). Fuente: elaboración propia.



Figura 3 Imágenes de algunos casos en zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

DESCRIPCION MORFOLOGICA PUNTUAL ZONA 2A



DESCRIPCION MORFOLOGICA PUNTUAL ZONA 2A

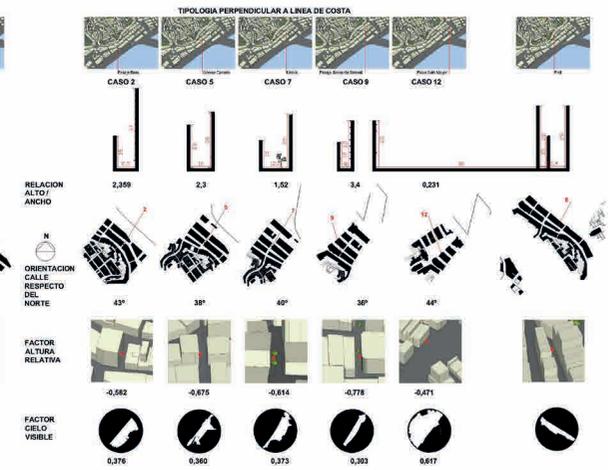


Figura 4 Descripción descriptores morfológicos para los casos de estudio. Fuente: elaboración propia.

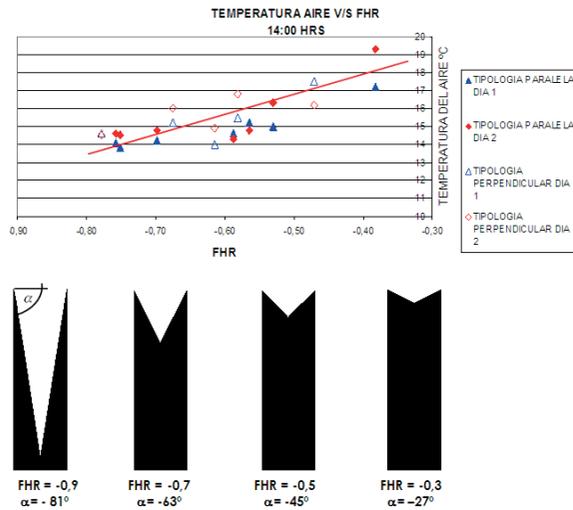


Figura 5 Izquierda, Temperatura del aire respecto del descriptor Factor de altura Relativa (FHR). Fuente: elaboración propia.

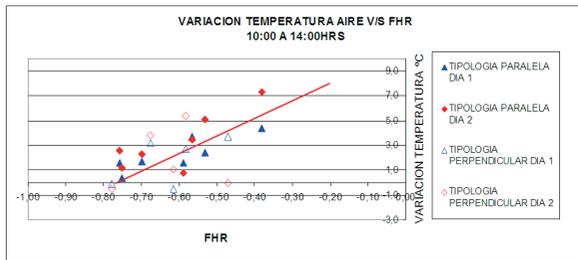


Figura 6 Variación Temperatura del aire respecto del descriptor Factor de altura Relativa (FHR). Fuente: elaboración propia.

Se observa que las variaciones de la temperatura del aire entre diversos puntos en la ciudad están relacionadas con las variaciones de morfología, materiales y emplazamiento, así como el uso de suelo. Desde el punto de vista morfológico, la cantidad de cielo visible y la orientación de la pendiente son dos variables relevantes en los resultados.

Etapa 2: Metodología

Se estudia la relación entre la morfología y el microclima en la zona que presenta el registro de temperaturas del aire más altas a las 20,00 h en el estudio de transectos. Corresponde a la zona de mayor densidad edificada de Valparaíso (Figura 3). Esta zona o tejido urbano se caracterizar de acuerdo a la tabla 1:

Se evalúan las características de morfología y materiales en los espacios públicos estudiados (Figura 4). Se determinan dos descriptores morfológicos para cada uno, que luego se contrastan con el comportamiento microclimático en ellos:

El Factor de Altura Relativa (FHR). Mediante este factor se determina la posible influencia del entorno en el suceso microclimático de un lugar, correspondiendo a la relación relativa entre el lugar y el entorno. Para poder determinar numéricamente este valor se procede de acuerdo a lo descrito en el modelo climático del Eixample de Barcelona (Isalgué, et al., op. cit. 1998), que es un modelo matemático multiescalar que considera variables de diseño urbano en la definición del clima de la ciudad, del barrio y del espacio de la calle. Para el cálculo del FHR, el modelo señala que este se obtiene de la relación de ángulo entre la diferencia de altura entre el lugar a evaluar y cada punto del entorno circundante y la distancia horizontal a la que está cada punto del entorno (ángulo entre lo lejos que está el punto del entorno y lo más arriba o más abajo que se encuentra respecto del lugar a evaluar). Esta diferencia de altura se considera positiva si el lugar está más alto que el entorno y negativa si está más bajo. El valor final de Altura Relativa corresponde al valor del $\text{arc tg}(\text{altura}/\text{distancia})/90^\circ$, que relaciona altura y distancia con respecto a los puntos de alrededor, y cuyo valor fluctúa entre -1 y 1.

El Factor de cielo visible (SVF, sky view factor). Corresponde a la porción de cielo en la cual el espacio público estudiado se presenta abierto. Este valor está correlacionado con el ingreso de radiación directa y con la ventilación de la calle. Para su determinación se procede a partir de la imagen fotográfica de ojo de pez que muestra el cielo del lugar siguiendo el procedimiento de Souza, Rodrigues y Mendes (2003). Diversos estudios consideran este factor como determinante del clima del espacio urbano (Blennow, 1995; Grimmond et al., 2001; Ratti, Baker y Steemers, 2005). Su valor varía entre 0 y 1.

Etapa 2: Resultados

Respecto a la temperatura del aire, se observa que esta es menor cuando es menor el FHR. En los casos estudiados en la zona del centro de la ciudad existe una correlación entre la temperatura del aire y el FHR. Se observó que a las 14,00 h la temperatura disminuye 1,2°C por cada disminución de -0,1 de FHR (Figura 5).

Respecto a la variación de la temperatura del aire, se observa en los casos estudiados que esta es menor cuando es menor el FHR, es decir, que cuando FHR tiende a -1 —la sección del cañón es más esbelta— hay menor variación diaria de temperatura. En los casos estudiados del centro de la ciudad, existe una correlación entre la variación de la temperatura del aire y el FHR. Se observa que la variación de la temperatura del aire de 10,00 h a 14,00 h, disminuye 1 °C por cada -0,1 de factor de altura relativa que disminuye (Figura 6).

Respecto a la temperatura de radiación global de los paramentos que conforman el espacio urbano, se observa en los casos estudiados, que a las 14,00 h esta es mayor cuando es mayor el SVF. En los casos estudiados del centro de la ciudad, existe una correlación entre la temperatura de radiación global de los paramentos y el factor de cielo visible SVF. Se observa, por ejemplo, que a las 14,00 h, la temperatura de radiación aumenta 6,4 °C por cada 0,1 de factor de cielo visible (Figura 7). Es decir, en estos casos, a medida que aumenta la visibilidad de cielo y el cañón es mas abierto, a las 14,00 h, la temperatura de radiación es mayor. Sin embargo, a las 20,00 h, independientes del SVF, las temperaturas de radiación global de los paramentos del cañón tienden a homogenizarse entre los casos estudiados.

Se observa que en perfiles más esbeltos y más hundidos respecto del entorno disminuye la incidencia del clima de la ciudad en sus microclimas: los casos de FHR menores y menor SVF, presentan un mayor control sobre su microclima y menores variaciones (Figura 8). Esto se evidencia al atardecer cuando, independientemente de la sección, la tendencia es la de homogenizar la temperatura del aire y mantener una radiación global de los paramentos de manera similar determinando similares radiaciones (w/m2) en todos los cañones estudiados en el centro de la ciudad (Figura 8).

CONCLUSIONES

Para los casos estudiados se observa que existen correlaciones entre el comportamiento microclimático de sus espacios y la conformación geométrica del cañón. Se ha constatado que las características morfológicas o descriptores definen las tendencias del comportamiento climático de espacios urbanos como los estudiados. La existencia de situaciones climáticas no explicadas geoméricamente tiene relación con otros factores modificadores del clima, como la radiación proveniente del tránsito o de la actividad al interior de las edificaciones, no presentadas en este trabajo.

Se ha mostrado que la forma de la calle (SVF) y sus materiales son incidentes en el microclima y que esto es más evidente cuando su perfil es más esbelto, especialmente en relación a la temperatura del aire y la radiación de los paramentos, donde se aprecia una menor influencia del clima local, que es evaluado a partir del descriptor FHR.

Un menor cielo visible y una menor exposición al viento de la ciudad, como característico de la zona de mayor densidad edificada, favorecerían una mayor acumulación de energía en el espacio urbano que se traduce finalmente en una mayor temperatura del aire al atardecer, propiciando el fenómeno de isla de calor.

Al considerar el emplazamiento dentro de la ciudad, la morfología urbana y la forma del cañón tienen mayor influencia en su microclima en la parte baja del plan de la ciudad más

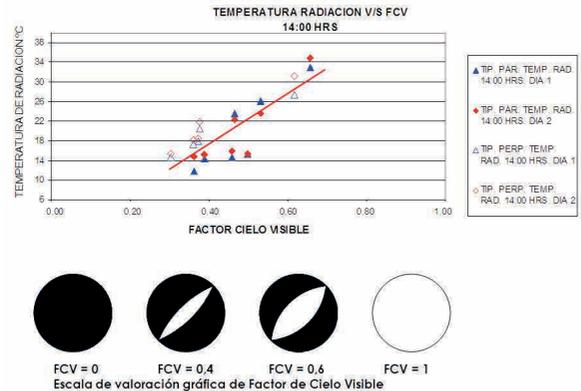


Figura 7 Temperatura media de radiación de los paramentos respecto del descriptor Factor de Cielo Visible (SVF).
Fuente: elaboración propia.

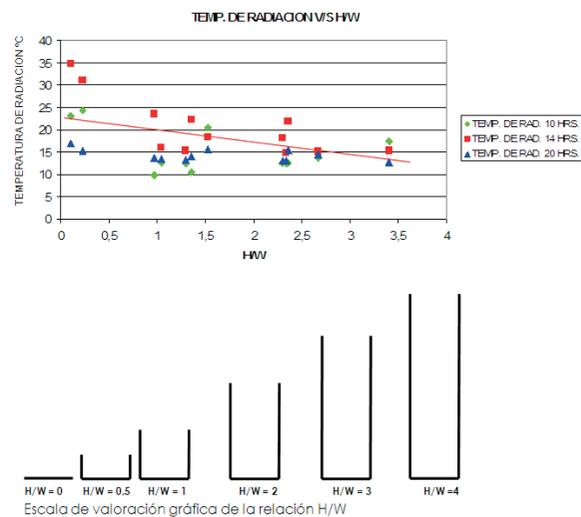


Figura 8 Correspondencia entre temperatura del aire, temperatura de radiación y variación de la temperatura de radiación.
Fuente: elaboración propia.

que en las partes altas y con pendiente, que se encuentran más expuestas a la radiación solar y al viento local. Se observó que para similares superficies de material, mayores alturas de emplazamiento (s.n.m.), favorecen un mayor enfriamiento durante la noche.

Finalmente se observó que el Factor de Altura Relativa (FHR) y el Factor de Cielo Visible (SVF) están fuertemente correlacionados. Esto pone en valor el contexto como condicionante morfológica para los microclimas en los espacios urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, Hashem, & KONOPACKI, Steven. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 2005, n° 33(6), pp. 721–756.

ALI-TOUDERT, Fazia. & MAYER Helmut., Numerical study on the effects of aspect ratio and solar orientation on outdoor thermal comfort in hot and dry climate, *Building and Environment*, 2006, n° 41. pp. 94–108.

ASHTIANI, Arya.; MIRZAEI, Parham. A. & HAGHIGHAT, Fariboz. Indoor thermal condition in urban heat island: Comparison of the artificial neural network and regression methods prediction, *Energy and Buildings*, 2014, n° 7, pp. 597-604.

BLENNOW, Kristina. Sky view factors from high resolution scanned fish-eye lens photographic negatives. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1995, 12. pp. 1357-1362.

BOZONNET, Emmanuel, BELARBI Rafik & ALLARD Francis, (2006) Modelling air flows around buildings in urban environment. International Workshop on Energy Performance and Environmental Quality of Buildings, Milos Island, Greece, July 2006.

BREWER-CARÍAS, Allan. *La ciudad ordenada*. Instituto Pascal Madoz. Universidad Carlos III. Boletín Oficial del Estado. Madrid 1997.

BUSATO, Filippo; LAZZARIN RenatoM. & NORO Marco. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. Department of Management and Engineering, University of Padova, *Sustainable Cities and Society*, 2014, n° 10, 251–258.

CARRASCO, Claudio. Analysis of urban heat island and its effects in Valparaíso, Chile. 3rd International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, IC2UHI, Venezia, Italy, December 2014.

CLEUGH, Helen. A. & OKE, Tim. R. Suburban-rural energy balance comparisons in summer for Vancouver, B.C. *Boundary Layer Meteorology*, 1986 n° 36, pp. 351-369.

CHRISTEN, Andreas, VOGT Roland, ROTACH Mathias W. & PARLOW Eberhard. First Results from BUBBLE I: Profiles of fluxes in the urban roughness sublayer. AMS 4th Symposium on the Urban Environment, Norfolk, Vancouver, Canada, pp. 105-106, 2002a.

CHRISTEN, Andreas, VOGT Roland, ROTACH MathiasW. & PARLOW Eberhard. First Results from BUBBLE II: Partitioning of turbulent heat fluxes over urban surfaces. AMS 4th Symposium on the Urban Environment, Norfolk Vancouver, Canada, pp. 137-138, 2002b.

DAVIS, Robert, KNAPPENBERGER Paul C., MICHAELS Patrick. J. & NOVICOFF William M. Wave mortality in large U.S. cities. Fifth Conference on Urban Environment, Vancouver, Canada, August 2004.

GAL, Tomás, LINDBERG Fredrik & UNGER J. Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 2009, n° 95, pp. 111–123.

GRIMMOND, Christine S., POTTER S.K., ZUTTER H.N. & SOUCH C. Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *International Journal of Climatology* 2001, n° 21, pp. 903–913.

GRIMMOND Christine S. & OKE, Tim R., Heat storage in urban areas: observations and evaluation of a simple model, *Journal of Applied Meteorology* 1999, n° 38, pp. 922-940.

GRIMMOND, Christine S. & OKE, Tim R. Comparison of heat fluxes from summertime observations in the suburbs of four North American cities. *Journal of Applied Meteorology*, 1995, n° 34, pp. 873-889.

ISALGUÉ, Antoni. ROSET Jaume & COCH, Helena. Environmental Evaluation of an Urban Sector. *REBUILD: The European Cities of Tomorrow - Shaping our*

European Cities for the 21st Century. Butera, et al (ed.), ETA-Florence, Italy, April 1998.

KIKEGAWA, Yokihirawa, OHASHIYukitaka . & KONDO Hiroaki. Observed and simulated effects of urban canopy on air temperatures in summer Tokyo. 7th Conference on Urban Environment. San Diego, CA. September 2007.

KOLOKOTRONIA, María, REN X., DAVIES Michael, MAVROGIANNI A. London's urban heat island: Impact on current and future energy consumption in office buildings. *Energy and Buildings* 2012, n° 47, pp. 302–311.

RATTI, Carlo, BAKER Nick & STEEMERS Koen Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings* 2005, n° 37. pp. 762 – 776.

ROTH, Matthias & OKE Tim R., Relative efficiencies of turbulent transfer of heat, mass and momentum over a patchy urban surface, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1995 n° 52, 1863-1874.

SANTAMOURIS, Mattheos, ARGIRIOU, A. & PAPANIKOLAOU, N. Meteorological Stations for Microclimatic Measurements. *Report to the POLIS Project*, European Commission, 1996.

SOUZA, Léa. Cristina Lucas de, RODRIGUES Daniel & MENDES, G. José Fernando. A 3D-gis extension for sky view factors assesment in urban environment. In: CUPUM 2003 - 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, CUPUM'03 Sendai, Japan 2003.

SUSCA, Tiziana, Gaffin, Stuart R., & DELL'OSSO, G. R. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 2011, n° 159 (8–9), pp. 2119–2126.

TAKEBAYASHI, Hideki, & MASAKAZU, Moriyama. Surface heat budget on green roof and highreflection roof for mitigation of urban heat island. *Buildings and Environment* 2007, n° 42 (8), pp. 2971–2979.

UNITED NATIONS (2010). World urbanization prospects: The 2014 revision population database. [Consultado mayo 2016] <https://esa.un.org/unpd/wup/>

MARTIN VIDE José María, MORENO G. M^a del Carmen Avance de Resultados sobre la Isla de Calor de Barcelona y de otras ciudades Catalanas. En VI Trobades Científiques de la Mediterrània. Institut d' Estudis Catalans, Institut Menorquí d' Estudis. Maó, Menorca 1990.

VOOGT, James & KRAYENHOFF Eric Scott. Modeling urban thermal anisotropy. International Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Proceedings of the ISPRS joint conference. Tempe, AZ, USA, March 2005.