

CALIDAD Y JUSTICIA CLIMÁTICA URBANA EN LA CIUDAD DE CHILLÁN, CHILE

Pamela Elisa SMITH GUERRA¹, Cristián HENRÍQUEZ RUIZ²

¹*Departamento de Geografía. Universidad de Chile.*

²*Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile.*
pamelasmit@uchilefau.cl.

RESUMEN

Aunque algunas de las características físicas de las ciudades están regulados por normativas como la Ley General de Urbanismo y Construcciones (planes reguladores y otros instrumentos), hay otros aspectos del clima urbano que quedan sin regulación (confort, paisaje) y no existe un marco político-legal para garantizar el logro de una alta calidad climática en la ciudad de manera integrada.

Este estudio aborda el clima urbano a través del estudio de la ciudad de Chillán, la cual posee gran cantidad de horas diurnas afectadas por disconfort térmico por calor en verano y también por frío en invierno. Se propone un indicador de calidad climática usando la evaluación multicriterio en base a técnicas de jerarquía analítica y *fuzzy* para la ponderación y normalización de datos, respectivamente. Se concluye que existe una relación entre las condiciones socio ambientales y la calidad climática de distintos barrios de la ciudad: la población con mayores niveles socioeconómicos cuenta con mayor nivel de NDVI, menor porcentaje de impermeabilización y menor temperatura atmosférica, en relación con los indicadores de los sectores más pobres, lo que da cuenta de una gran injusticia climática urbana.

Palabras clave: Clima urbano, calidad climática, justicia climática.

ABSTRACT

Some of the physical characteristics of cities are regulated by regulations such as the General Law of Urbanism and Construction (regulatory plans and other instruments),. Nevertheless, other aspects of the urban climate that remain unregulated (comfort, landscape) and there is no political framework -legal to guarantee the achievement of a high climate quality in the city in an integrated manner.

This study addresses the urban climate through the study of the city of Chillán, which has a large number of daytime hours affected by thermal discomfort due to heat in summer and also by cold in winter. A climatic quality indicator is proposed using multicriteria evaluation based on analytical and fuzzy hierarchy techniques for the weighting and normalization of data, respectively. It is concluded that there is a relationship between socio-environmental conditions and climate quality of different neighborhoods of the city: the population with higher socioeconomic levels has a higher level of NDVI, lower percentage of waterproofing and lower atmospheric temperature, in relation to the indicators of the poorest sectors, which accounts for a great urban climate injustice.

Key words: Urban climate, climate quality, climate justice.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se observa un acelerado proceso de urbanización a nivel mundial. Chile, en particular, se sitúa sobre el promedio Latinoamericano (75%), con un 89,9% de población urbana para el año 2017, según los resultados del último Censo de Población y Vivienda realizado en Chile (INE, 2018).

Las ciudades modifican las condiciones naturales anteriores a su instalación, y entre ellas, el clima local, generando el clima urbano (Stewart & Oke, 2012), caracterizado por la formación de islas de calor, sequedad, frío y humedad, las cuales pueden llegar a ser un factor de riesgo, favoreciendo la ocurrencia de enfermedades respiratorias, situaciones de discomfort y estrés térmico. Lo anterior se relaciona con la calidad ambiental urbana y más específicamente, con el concepto de calidad climática (De Castro et al, 2008; Scudo & Dessi, 2006), que resulta ser un componente de la calidad ambiental, para referirse a la correcta consideración de las condiciones climáticas en la planificación de la ciudad (Bitan, 1992).

En su definición de calidad climática Bitan (1992) declara que no basta con lograr que el aire de la ciudad no se encuentre contaminado, se debe considerar, además, la correcta ventilación de la ciudad, el sombreado durante el verano y los "derechos al sol" en invierno. En este sentido, el municipio de Barcelona, en su Plan de Ecología Urbana, entre otras cosas determina en número de horas con derecho al sol que debe poseer cada vivienda de la ciudad (Martin Vide et al., 2015).

El nivel de calidad climática no es homogéneo a toda la ciudad. Su valor varía entre los diferentes espacios urbanos en función de la interacción del clima local con los factores geomorfológicos, la estructura urbana, los criterios urbanísticos (Danni-Oliveira, 2000) y la estructura social. Por lo anterior, habría habitantes de una misma ciudad, pero de mayores ingresos, que podrían acceder a una mejor calidad climática, revelando un problema de justicia ambiental.

Lo anterior no es inocuo, las zonas urbanas con baja calidad climática utilizan más energía para el aire acondicionado en verano y para la calefacción en invierno e incluso, más electricidad para la iluminación. Por otra parte, generan incomodidad y molestias a la población, debido a las altas temperaturas, los corredores de viento en las calles y la turbulencia del viento inusual, provocada por edificios de gran altura erróneamente diseñados (Santamouris *et al*, 2001).

Aunque algunas de las características físicas de las ciudades están regulados por ley (calidad del aire, ruido, etc.), no existe un marco legal para garantizar el logro de una alta calidad climática en la ciudad (Alcoforado, 2006; Alcoforado *et al.*, 2009). En un estudio reciente para dos ciudades chilenas, Antofagasta y Chillán, Henríquez *et al.* (2016) proponen un indicador de calidad climática-ambiental que integra la cobertura vegetal, temperatura de emisión superficial y niveles socioeconómicos. Sin embargo, no existen aproximaciones que integren otras dimensiones relevantes para la calidad climática en función de una mirada más holística.

La presente investigación aborda el caso de la ciudad de Chillán a dos escalas: un nivel de calidad climática a escala local o de ciudad y otro a microescala, orientado a espacios públicos. El objetivo propuesto fue avanzar en la definición de un indicador

de calidad climática, integrando parámetros morfológicos, climáticos y ambientales evaluados a partir de la opinión de expertos. El estudio se centró en el periodo estival ya que la ciudad tiene una gran cantidad de horas diurnas afectadas por discomfort térmico, producto de las elevadas temperaturas que se presentan (Smith et al., 2018).

2. MÉTODOS

La investigación consideró una aproximación metodológica mixta, combinando métodos de naturaleza cualitativa y cuantitativa. Para identificar el peso de factores¹ que serían incluidas en el cálculo de la calidad climática a escala local se envió, entre los meses de enero y marzo de 2017, un formulario online² a través de correo electrónico personalizado a 30 expertos internacionales en clima local, seleccionados en base al criterio de participar como autores en artículos científicos que se relacionan con el estudio del confort térmico de exterior.

De los consultados, quince corresponden a países de América Latina y 14 a países de europeos. Los expertos debieron evaluar la importancia por pares de factores, utilizando una escala continua que va de 1/9 a 9, utilizando la metodología de proceso de jerarquía analítica.

Para determinar la calidad climática se aplicó el método de evaluación multicriterio de sumatoria lineal ponderada, cuya fórmula es la siguiente:

$$a_i = \sum_{j=1}^J w_j x_{ij}$$

Donde: a_i es la aptitud de la celda i , en este caso, el valor de la calidad climática, w_j es el peso asignado al factor j , y x_{ij} es el valor del factor j en la celda i .

Previo a la realización de la sumatoria lineal ponderada, se estandarizaron los factores de entrada en una escala de 0 a 1, que va de mínima a máxima calidad climática. Para ello se utilizó la función de escalamiento del Software ArcGIS 10.4, de acuerdo con funciones de transformación explicadas en la sección Resultados.

El cálculo de la calidad climática se realizó en tres horarios: 10, 16 y 20 horas local, considerando el periodo de verano 2015-2016, donde se registraron eventos de temperaturas extremas, 36,4°C en zonas rurales, según registros de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Para el análisis de la calidad climática se consideraron cinco categorías que se extienden de 0 a 1 (tabla 1), considerando que la condición ideal sería este último valor donde se dieran las siguientes condiciones: valores de NDVI cercanos a 1, impermeabilización del suelo inferior a 25%, temperatura del aire en la zona de confort (entre 21,1 y 27,02°C), humedad relativa del aire en zona de confort (entre 20

¹ Vegetación (NDVI), porcentaje de superficie impermeable (%), temperatura de emisión superficial (°C), distancia a los cursos de agua (m), altura de las edificaciones (n° de pisos), temperatura atmosférica (°C), humedad relativa del aire (HR%) y contaminación atmosférica ($\mu\text{g m}^3$).

² El formulario enviado constaba de dos secciones, a primera una pregunta abierta sobre qué factores consideraría para el cálculo de la calidad climática, a escala local y microescala. Luego, una evaluación por pares de factores, considerando todos los factores propuestos por la investigación.

y 80%), altura de las edificaciones inferior al 50% del ancho de la calle, cercanía a algún curso de agua y buena calidad del aire.

Categoría	Calidad climática	
	Valor mínimo	Valor máximo
Muy bajo	0	0,2
Bajo	0,2	0,4
Medio	0,4	0,6
Alto	0,6	0,8
Muy alto	0,8	1

Tabla 1. Categorías calidad climática

Los resultados de calidad climática se cruzaron espacialmente con todos los espacios públicos de la ciudad, con las veredas y la superficie no construida al interior de los predios privados. Los espacios públicos fueron reconocidos a escala 1:5.000 sobre imágenes *QuickBird* de diciembre de 2016, disponible en *Google earth* y mapeados a escala 1:1.500, sobre un pixel de 2,5 metros. Se reconocieron: parques, plazas, bandejones centrales, costaneras de río, centros deportivos, canchas de fútbol y paseos peatonales.

Finalmente, la calidad climática fue relacionada con el nivel socioeconómico (NSE) predominante de los hogares a nivel de manzana. Para determinar el NSE por manzana se utilizó la clasificación propuesta por Adimark (2013) que identifica cinco grupos a partir de los datos del CENSO 2002 y 2012: ABC1 (más de U\$2.858) y C2 (entre U\$867 y U\$2.857), que corresponden a los dos quintiles con más altos ingresos; C3 (entre U\$578 y U\$867) que corresponde al quintil con ingresos medios; y finalmente, los más pobres D (entre U\$289 y U\$578) y E (menos de U\$289).

3. RESULTADOS

3.1 CALIDAD CLIMÁTICA PROMEDIO PARA LA CIUDAD.

De la consulta a expertos sobre factores incidentes en la calidad climática, la vegetación posee la mayor ponderación promedio con un valor de 19,7%. En segundo lugar, aparece la contaminación atmosférica con 17,5% y en tercer lugar la temperatura de emisión superficial 14,3%. El resto de los pesos se aprecia en la tabla 2.

Con la ponderación promedio y normalización de los valores de cada factor se calculó la calidad climática para la ciudad. A esta escala el cálculo se realizó considerando los valores promedios para las 16 horas de verano y del día 30 de enero de 2016 (tabla 2).

Factor	Ponderación promedio ₁	Promedio verano 2016	Promedio 30 de enero de 2016
Vegetación (NDVI)	0,197	0,2	0,2
Contaminación atmosférica (MP10 ug/m3)	0,175	32,99	32,99
T°de emisión superficial	0,143	27,49	27,49

(°C)			
Distancia cursos de agua (m)	0,122	759,6	759,6
Superficies impermeables (%)	0,114	62	62
Altura de las edificaciones (m)	0,096	4,5	4,5
T° del aire (°C)	0,089	29,96	35,1
Humedad relativa (H%)	0,067	28,9	23,66
Calidad Climática		0,7	0,65

Ratio consistency: 0,09, que corresponde a un valor aceptable.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Valor promedio de cada factor para la ciudad de Chillán

3.2 ESPACIALIZACIÓN DE LA CALIDAD CLIMÁTICA

De acuerdo con los resultados anteriores se seleccionaron los factores que fueron incluidos en el modelo para obtener la distribución espacial de la calidad climática de verano a escala local. Se excluyen del modelo los siguientes factores:

- *Contaminación atmosférica*, pese a que está posee un peso alto (0,18) para explicar la calidad climática urbana, solo existen dos estaciones vigentes que proporciona información de calidad del aire (Estación Purén y Estación INIA) por lo cual no se puede interpolar espacialmente. Además, esta investigación se concentra en la estación de verano en que la concentración diaria por material particulado se mantiene bajo 50 ug/m³, y, por tanto, la calidad del aire es buena.
- *Temperatura de emisión superficial*, El comportamiento espacial de este factor es similar al de la temperatura atmosférica. Pese a poseer una ponderación promedio más alta (0,14) que la temperatura del aire (0,09), solo se encuentra disponible para el medio día, razón por la cual se opta por incorporar a la temperatura del aire, para dar cuenta de la variabilidad horaria.
- *Humedad relativa del aire*, ya que alcanza la menor ponderación promedio y sólo se mide en tres estaciones meteorológicas fijas de la ciudad.
- *Altura de las edificaciones*, ya que posee una ponderación promedio inferior a 0,1 y la mayoría de las construcciones de la ciudad de Chillán poseen uno o dos pisos.

Así entonces, para espacializar la calidad climática se incluyeron en la ecuación solo cuatro factores. Los pesos que resultan de la evaluación por pares se presentan en la tabla 3.

De acuerdo con la espacialización del índice, los valores de calidad climática se extienden entre 0,05 y 0,9 aproximadamente. El promedio de calidad climática varía respecto del obtenido de los valores promedio (tabla 2), ubicándose entre 0,55 y 0,6 para todos las horas y días evaluados. El valor más alto de calidad climática se registró a las 20 horas, alcanzando 0,6 y 0,54 respectivamente, cuando la temperatura del aire disminuye.

Factor	Peso
Vegetación (NDVI)	0,46
Superficies impermeables	0,28
Temperatura atmosférica	0,12
Distancia a los cursos de agua	0,14

Nota: ratio consistencia es 0,09, que corresponde a un valor aceptable.

Tabla 3. Peso de los factores incluidos en el modelo de calidad climática a escala local

Tal como se observa en la figura 1, que representa la distribución de la calidad climática promedio del verano 2015-2016 a las 16:00 h, los valores más altos de calidad climática se encuentran en las áreas periurbanas, principalmente asociados a terrenos de cultivos y áreas ribereñas (valores entre 0,6 y 0,9), situación que es similar a las 10 y 20 h. Al interior de la ciudad se reconocen diferencias de la calidad climática, en general los valores son medios (0,4 a 0,6) y medios bajos (0,2 a 0,4), sin embargo en aquellos lugares que poseen densidades de construcción menores y más vegetación al interior de los predios se asocian a valores más altos de calidad climática (valores entre 0,6 y 0,8), sin alcanzar sin embargo, los que se encuentran en las nuevas urbanizaciones del norte y noreste de la ciudad, que corresponden a viviendas ubicadas al interior de condominios cerrados y parcelas de agrado³.

3.3 CALIDAD CLIMÁTICA DE LOS ESPACIOS PÚBLICOS DE CHILLÁN

La ciudad cuenta con 329 espacios públicos que suman 135 hectáreas que representan solo el 4,4% del área urbana (Smith & Henríquez, 2018).

Las plazas son el tipo de espacio público más numeroso (155), sin embargo, su superficie promedio es de solo 0,23 hectáreas (ha), con algunas que no alcanzan los 400 metros cuadrados (0,04 ha). Con una superficie promedio mayor, 1,3 hectáreas, se encuentran los parques, que en total suman 6, cinco en la comuna de Chillán y uno en la comuna de Chillán Viejo. Las costaneras se encuentran asociadas a componentes naturales del medio ambiente urbano; el Estero Las Toscas, que da origen a un parque homónimo y la ribera del río Chillán, en el sector de Río Viejo al sur este de la ciudad. Finalmente, se reconoce la presencia de la cancha de fútbol como un espacio público importante, por su número (38) y localización, asociada principalmente a barrios residenciales de ingresos bajos y medios.

Al interior de la ciudad, algunas plazas, como la Plaza de Armas de Chillán y el Parque Estero Las Toscas se asocian con valores altos de calidad climática. El promedio de calidad climática del total de los espacios públicos de la ciudad de Chillán se acerca a 0,4-0,45 que corresponde a un valor medio bajo; llegando a 0,6 en aquellos espacios públicos que se localizan donde reside la población ABC1. Las costaneras de río alcanzan el valor más alto, superando 0,55 de promedio. Las plazas, que representan

³ Las parcelas de agrado es una tipología de vivienda ubicada en los sectores periurbanos, caracterizada por poseer un gran terreno (superior a ½ hectárea), vegetación, y en muchos casos piscinas.

la tipología más numerosa, presentan un promedio de 0,4, levemente inferior a los parques, que superan el valor 0,45. Por el contrario, los valores más bajos se asocian al Paseo Peatonal Arauco (0,3) y a las canchas de fútbol (0,35 como promedio), que se localizan principalmente asociadas a población C3, D y E. Por su parte, los centros deportivos, ubicados principalmente en barrios donde reside población ABC1, poseen valores más altos, cercanos a 0,4.

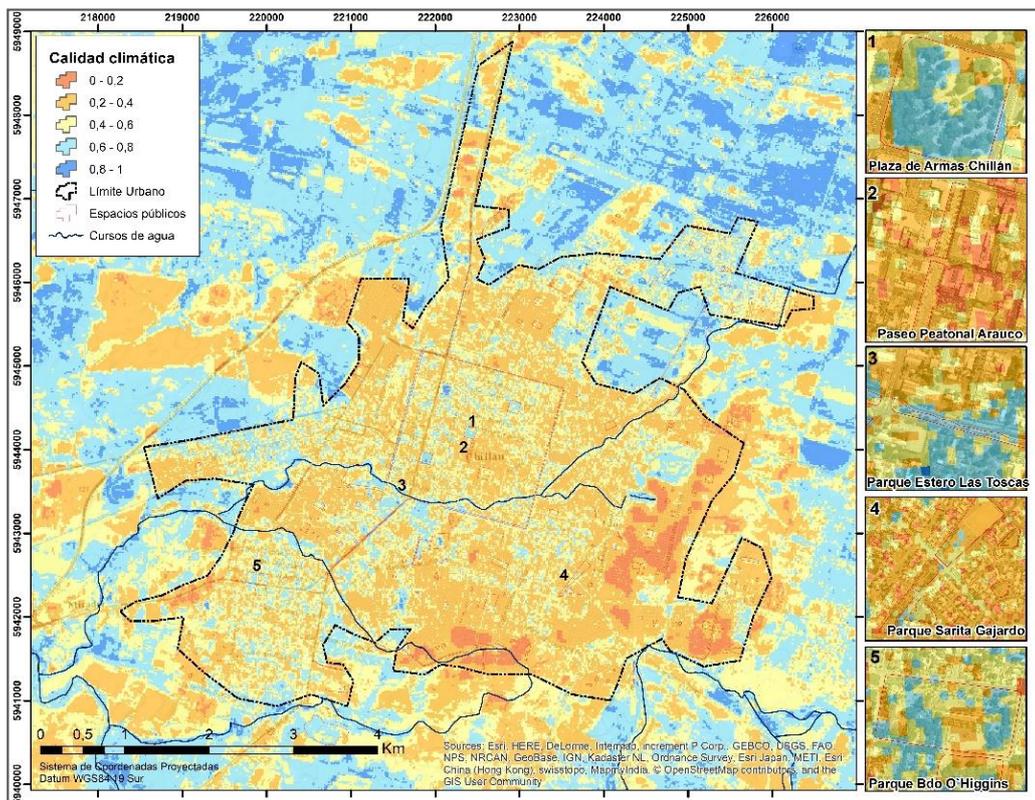


Figura 1. Calidad climática a escala local calculada a las 16 horas promedio de verano 2015-2016.

3.3 RELACIÓN CALIDAD CLIMÁTICA Y NIVEL SOCIOECONÓMICO

El nivel socioeconómico que concentra la mayor cantidad de hogares y ocupa la mayor proporción de manzanas en la ciudad de Chillán corresponde al grupo D, que sumado al NSE C3 representan algo más del 70%. La mayor cantidad de espacios públicos se distribuye en áreas ocupadas por nivel socioeconómico C3 y D, con 117 y 94 espacios públicos respectivamente, sin embargo, su superficie promedio es menor que la observada en aquellos espacios públicos cercanos a los niveles socioeconómicos más altos, ABC1 y C2.

El nivel socioeconómico E solo posee ocho espacios públicos, seis de los cuales son plazas que, en promedio, alcanzan 0,1 has de superficie. Las canchas de fútbol, que

corresponden a un espacio público numeroso, solo se localizan en sectores con nivel socioeconómico C3 y D, con 12 y 24 respectivamente.

La calidad climática es mayor en aquellos espacios públicos que se ubican asociados a manzanas donde vive población con nivel socioeconómico ABC1 y C2. Los espacios públicos vecinos a manzanas con niveles socioeconómicos D y E coinciden con los valores promedios más bajos de calidad climática, con una diferencia promedio de 0,2 con aquellos que poseen la más alta calidad (tabla 6).

El comportamiento anterior es similar y la diferencia entre NSE es mayor al analizar la calidad climática al interior de los predios, que corresponde al espacio abierto de carácter privado. La población ABC1, en general, se ha localizado en parcelas de agrado, que poseen jardines amplios con mejores condiciones ambientales, mayor valor de NDVI por ejemplo, que resultan en valores de calidad climática 0,3 superiores al que poseen los patios del NSE E y D.

	ABC1	C2	C3	D	E	Sin hogares	Total general
Bandejón central	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,48	0,46
Cancha			0,35	0,33	0,29	0,34	0,34
Centro Deportivo	0,44	0,44		0,39			0,43
Costanera río			0,63	0,59			0,60
Parques			0,42	0,52			0,46
Paseo Peatonal						0,31	0,31
Plazas	0,61	0,56	0,42	0,36	0,40		0,45
Otros		0,50			0,63	0,58	0,54
Total general	0,58	0,53	0,43	0,37	0,38	0,44	0,44

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Calidad climática por tipo de espacio público y nivel socioeconómico

4. DISCUSIÓN

Existe una distinción respecto de la tipología y calidad climática de los espacios públicos asociada a los niveles socioeconómicos de la población. En los sectores donde vive la población ABC1 solo se encuentran parques y bandejones centrales, principalmente vegetados, lo que se demuestra con los mayores valores del NDVI. Las canchas de fútbol, de pavimento o tierra, son una tipología de espacios públicos bastante numerosa, y todas ellas se ubican asociadas a población de ingresos medio-bajo, pertenecientes a los niveles socio económicos C3 y D.

Si bien los espacios públicos podrían contrarrestar las diferencias existentes al interior de la ciudad, ofreciendo buenas condiciones ambientales y climáticas a la población,

se observó que la calidad climática de los espacios públicos identificados en la ciudad, se relaciona con el nivel socio económico de las manzanas vecinas, y por lo tanto, gozan de mayor calidad climática aquellos espacios públicos asociados a NSE ABC1, dando cuenta de la existencia de (in)justicia climática urbana.

La existencia de pocos espacios públicos en la ciudad es consecuencia de una planificación urbana que no se ha hecho cargo de esta problemática, delegando a otros sectores la generación de espacios públicos de mayor confort, tales como el Santuario de Schoenstatt, ubicado al sur de la ciudad, en la comuna de Chillán Viejo el centro comercial, mall Arauco Chillán, localizado en el centro.

Por lo anterior, se deben dirigir esfuerzos hacia el aumento de la cantidad y calidad de los espacios públicos de la ciudad, que por un lado asegure una distribución territorial equitativa y que, a la vez, ponga a disposición de los habitantes espacios que gocen de una buena calidad climática.

REFERENCIAS

- ADIMARK. (2004). Mapa socioeconómico de Chile. Nivel socioeconómico de los hogares del país basados en datos del censo. Chile. Disponible en: http://www.adimark.cl/medios/estudios/Mapa_Socioeconomico_de_Chile.pdf
- Alcoforado, M.; Andrade, H.; Lopes, A. & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning* 90, 56–65.
- Alcoforado, M. (2006). Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra*, XLI(82), 49-64.
- Bitan, A. (1992). The high climatic quality city of the future. *Atmos. Environ* 26(3), 313–329.
- Danni-Oliveira, I. (2000). A cidade de Curitiba e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. (Tesis de doctorado en Geografía, Universidade de São Paulo. São Paulo).
- De Castro, M.; Aljawabra, F. & Nikolopoulou, M. (2008). Open urban space quality: a study in a historical square in Bath – UK. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22 – 24 de Octubre.
- Henríquez, C.; Treimun, J. & Qüense, J. (2016). Zonificación climático-ambiental urbana mediante la integración de técnicas de teledetección satelital, geoestadística y SIG. En: Análisis geoespacial de los estudios urbanos. Ley García, J. y Mas J. Coordinadores. Editorial SELPER, Universidad Autónoma de México, 171 – 199.
- Instituto Nacional de Estadísticas, INE. (2018). Censo de Población y Vivienda año 2017.
- Martin Vide, J.; Montlleó, M. & Sanromá, I. (2015). Barcelona: Urban Heat Islands. En. *Cities and climate change urban heat islands*, Jean-Jacques Terrin (Ed.). 38 – 57.
- Santamouris, M.; Papanikolaou, N.; Livida, I.; Koronakis, I.; Geogakis, C.; Argiriou, A. & Assimakopoulos, N. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy* 70(3), 201–216.

- Scudo, G. & Dessi, V. (2006). Thermal comfort in urban space renewal. PLEA 2006, the 23rd. Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6 – 8 September.
- Smith, P. & Henríquez, C. (2018). Microclimatic metrics linked to the use and perceptions of public spaces: The case of Chillán city, Chile. *Atmosphere* 186, 1 – 16.
- Smith, P., Lamarca, C. & Henríquez, C. (2018). A comparative study of thermal comfort in public Spaces in the cities of Concepción and Chillán, Chile. In: Henríquez, C. & Romero, H. (Ed.) *Urban Climate in Latin-American Cities*. Dordrecht: Springer.Nature, Chapter 6 (in press).
- Stewart, D. & Oke, T. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *American Meteorological Society*, 1879-1900.