

Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad media mediterránea chilena

Pamela Smith Guerra * 

Cristián Henríquez Ruiz + 

Resumen

Las altas temperaturas, la fuerte radiación, la baja cobertura vegetal, la impermeabilización del suelo, entre otros factores urbano-climáticos, generan un gran *discomfort* y molestias a la población urbana. Aunque algunas de las características de las ciudades están reguladas por normativas ambientales (como la calidad del aire y el ruido) y urbanísticas (como los usos de suelo o las alturas de edificación), no existe un marco conceptual para determinar el nivel de calidad climática en la ciudad de manera integrada. La presente investigación propone un indicador innovador de Calidad Climática Urbana (CCU) a partir de una evaluación multicriterio que considera la consulta a expertos, el cálculo de factores climáticos y su espacialización en SIG. Como caso de estudio se aborda la ciudad media de Chillán, Chile, que posee una gran cantidad de horas diurnas afectadas por *discomfort* térmico en verano y episodios de muy mala calidad del aire en invierno. Se observa que existe una gran injusticia climática producto de las grandes diferencias entre las condiciones socioambientales y la CCU en diferentes barrios de la ciudad, que se traduce en que la población con mayores niveles socioeconómicos disfrute de mayor CCU en relación con los indicadores de los sectores más pobres.

Palabras clave: ciudad media, clima urbano, evaluación multicriterio, indicador, planificación urbana.

Ideas destacadas: el presente artículo de investigación se desarrolló en el marco del Proyecto ANID/Fondecyt Iniciación n.°1080990. Su objetivo es identificar cuáles son los factores que explican la calidad climática urbana. Su reconocimiento proporciona información para la planificación y diseño de la ciudad.



RECIBIDO: 13 DE MAYO DE 2019. | EVALUADO: 27 DE ENERO DE 2020. | ACEPTADO: 3 DE SEPTIEMBRE DE 2020.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Smith Guerra, Pamela; Henríquez Ruiz, Cristián. 2021 "Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad media mediterránea chilena." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 30 (1): 144-157. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n1.79653>.

* Universidad de Chile, Santiago – Chile. ✉ pamelasmit@uchilefau.cl – ORCID: 0000-0001-9355-9601

+ Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago – Chile. ✉ cghenriq@uc.cl – ORCID: 0000-0001-6845-1973

✉ Pamela Smith G. Av. Portugal 84, Santiago

Proposal of an Indicator to Evaluate Urban Climate Quality: Case Study in a Medium-Sized Chilean Mediterranean City

Abstract

The higher temperatures, big amount of radiation, low vegetation cover, the imperviousness of natural soil, among other urban-climates factors, generate great uncomfortable and inconvenience conditions for the urban population. Albeit some features of the cities are regulated by environmental norms (air quality, noise) and urbanistic norms (land uses, building rise), there is not a conceptual framework to define the urban climate quality in an integrated way. We proposed a novel indicator of Urban Quality Climate (UQC) that considers the query to experts, the calculation of climatic factors, and the modeling through the spatialization of statistical methods in GIS. The city of Chillan, Chile, was the case study that has a high quantity of daytime hours affected by summer thermal discomfort and episodes of very poor air quality in winter. A high environmental injustice has been observed due to a huge socioeconomic difference between socio-environmental conditions and UQC in different neighborhoods of the city. It means that the population with higher socioeconomic levels enjoys greater UQC in relation to the indicators of the poorest sectors.

Keywords: mean-size city, urban climate, multi-criteria assessment, indicator, urban planning.

Highlights: this corresponds to a research article in the framework of the ANID/Fondecyt Initiation Project n° 1080990. Its objective is to identify the factors that explain urban climatic quality. Its recognition provides information for the planning and design of the city.

Proposta de um indicador para avaliar a qualidade do clima urbano: estudo de caso em uma cidade chilena mediterrânea de médio porte

Resumo

As altas temperaturas, a forte radiação, a baixa cobertura vegetal, a impermeabilidade do solo, entre outros fatores clima-urbanos, geram um grande desconforto e inconveniências para a população urbana. Apesar de algumas características das cidades serem reguladas por normas ambientais (como a qualidade do ar e o ruído) e normas urbanísticas (o uso da terra e o aumento de edificações), não existe um arcabouço conceitual para definir a qualidade do clima urbano de forma integrada. Propomos um novo indicador de Qualidade do Clima Urbano (QCU) que considera a consulta de especialistas, o cálculo de fatores climáticos e a modelagem através da espacialização de métodos estatísticos em SIG. A cidade de Chillan, Chile, foi o estudo de caso que tem um grande número de horas diurnas afetadas por desconforto térmico no verão e episódios de péssima qualidade do ar no inverno. Uma alta injustiça ambiental tem sido observada devido à grande diferença socioeconômica entre as condições socioambientais e a QCU em diferentes bairros da cidade. Isso significa que a população com maior nível socioeconômico goza de maior QCU em relação aos indicadores dos setores mais pobres.

Palavras-chave: cidade média, clima urbano, avaliação multicritério, indicador, planejamento urbano.

Ideias destacadas: artigo de pesquisa desenvolvido no âmbito do Projeto de Iniciação ANID/Fondecyt n° 1080990. Seu objetivo é identificar quais são os fatores que explicam a qualidade do clima urbano. Seu reconhecimento fornece subsídios para o planejamento e desenho da cidade.

Introducción

En las últimas décadas se observa un acelerado proceso de urbanización, con un ritmo de crecimiento urbano a nivel mundial cercano al millón de personas por semana. Chile, en particular, se sitúa sobre el promedio Latinoamericano (75 %), con un 87,8 % de población urbana (INE 2017). Los estudios acerca del proceso de urbanización y sus efectos se han concentrado en metrópolis y grandes aglomeraciones urbanas (Bellet y Llop 2004), y se han preocupado muy poco de otros espacios urbanos, tales como las ciudades intermedias. A este tipo de ciudades se les atribuye mejores condiciones ambientales debido a la escala humana que presentan, que otorgarían a sus habitantes mayor calidad de vida (Bellet y Llop 2004). Sin embargo, producto de la escasa atención y recursos, las ciudades intermedias chilenas reproducen paulatinamente la estructura y funcionamiento de las grandes ciudades, degradando su calidad original y los niveles de integración socioespacial y socioambiental que las caracterizaron (Romero, Ordenes y Vásquez 2003; Henríquez Ruiz 2014).

Las ciudades, independiente de su tamaño, modifican las condiciones naturales anteriores a su instalación, incluido el clima local, lo que genera el clima urbano (Stewart y Oke 2012). Este es definido 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 o la concentración de contaminantes. Lo anterior se relaciona con la calidad ambiental urbana y, más específicamente, con el concepto de calidad climática (Scudo y Dessi 2006; De Castro, Aljawabra y Nikolopoulou 2008), 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, aun cuando se logre una ciudad sin problemas ambientales, como por ejemplo sin aire contaminado, si no se consideran además aspectos como la correcta ventilación de la ciudad, el sombreado durante el verano y los “derechos al sol” en invierno, se configura entonces una ciudad de mala calidad climática. En este sentido, un avance positivo lo representa la propuesta del municipio de Barcelona en su Plan de Ecología Urbana, que indica el número de horas con derecho al sol que debe poseer cada vivienda (Martin, Montlleó y Sanromá 2016).

El nivel de calidad climática no es homogéneo en toda la ciudad, varía 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, razón por la cual habría habitantes de una misma ciudad que podrían acceder a una mejor calidad climática.

Lo anterior no es inocuo; las zonas urbanas con baja calidad climática, asociadas a mayores temperaturas del aire, utilizarían más energía para el aire acondicionado en verano y para la calefacción en invierno e, incluso, más electricidad para la iluminación (Akbari, Pomerantz y Taha 2001; Salvati, Coch Roura y Cecere 2017). Aunque algunas de las características físicas de las ciudades están reguladas por normas (calidad del aire, ruido, entre otras), no existe un marco legal para garantizar el logro de una alta calidad climática en la ciudad de manera integrada (Alcoforado 2006; Alcoforado, Henrique y Vasconcelos 2009). Tampoco existe un marco conceptual y empírico sobre esto.

Las buenas condiciones ambientales en el espacio abierto dependen de una serie de aspectos entre los que se encuentran: el microclima, la seguridad, la disponibilidad de equipamiento, etc. En el estudio de Castro et ál. (2008) sobre *Queen Square*, se aplicó un breve cuestionario adaptado por Scudo y Dessi (2006) para medir la calidad climática. El cuestionario incluyó cinco dimensiones: circulación, actividades, presencia de nichos o subespacios, *sedibility* o calidad de sus asientos, y microclima —este último, principalmente, asociado con la cantidad de calor y sombra disponible—.

De esta forma, la presente investigación propone un indicador de calidad climática a escala urbana, considerando como estudio de caso a la ciudad intermedia de Chillán, con el fin de identificar factores explicativos de la calidad climática urbana y proponer lineamientos de planificación y diseño urbano que consideren el microclima en la planificación de la ciudad y sus barrios. El estudio se centra en el periodo estival ya que la ciudad tiene una gran cantidad de horas diurnas afectadas por *discomfort* por el calor de verano.

Metodología

La investigación propone definir un indicador de calidad climática a escala urbana, considerando el método de evaluación multicriterio (EMC) e incluyendo parámetros morfológicos, climáticos y ambientales evaluados a partir de la opinión de expertos.

Área de estudio

La ciudad de Chillán, ubicada en la región del Biobío, comunas de Chillán y Chillán Viejo (Figura 1), se ubica a los 36° 36' de latitud sur y posee un clima templado cálido con lluvias invernales, Csb, según la clasificación de Köppen para Chile (Sarricolea, Herrera-Ossandon y Meseguer-Ruiz 2017). De acuerdo con los datos de la estación meteorológica Bernardo O'Higgins de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) —ubicada en el aeropuerto homónimo a 5 km al noreste del límite urbano de la ciudad—, la temperatura promedio anual de las últimas cuatro décadas es de 13,7 °C, y la temperatura promedio de verano es de 19,4 °C. Según los datos de temperatura atmosférica recogidos en el interior de la ciudad, el promedio anual de los últimos años alcanza 15,5 °C en el centro (Smith y Henríquez 2018).

Según los datos del *Censo de población y vivienda* realizado en 2017 por el Instituto Nacional de Estadística (INE 2017), Chillán alcanza los 191.100 habitantes y es definida como ciudad intermedia mayor (Minvu 2007). Esta ciudad presenta un gran dinamismo que se observa en el crecimiento promedio de su superficie urbana durante las últimas dos décadas, que llega a un 38 %,

superior al 27 % de crecimiento experimentado por las áreas metropolitanas chilenas; pasó de 1.800 a 3.010 hectáreas entre 2002 y 2015. Chillán, además, es una de las ciudades intermedias mayores del país que posee el valor más bajo de áreas verdes públicas por habitante, y alcanza solo 1,7 m²/hab., por debajo del promedio nacional de las áreas urbanas, de 3,5 m²/hab.

Obtención de variables para el cálculo de la calidad climática urbana

Para identificar las variables que serían incluidas en el cálculo de la calidad climática a escala urbana se envió, entre los meses de enero y marzo de 2017, un formulario en línea a través de correo electrónico personalizado a 30 expertos en clima urbano, nacionales e internacionales. El criterio de selección fue la participación de los autores en artículos científicos que se relacionan con el estudio del confort térmico urbano. Todos los expertos seleccionados pertenecen a universidades o centros de investigación de reconocida trayectoria. Del total, quince corresponden a países de América Latina: Chile (6), Brasil (3), Argentina (2), México (2), Colombia (1) y Venezuela (1). Los otros 14 participantes corresponden a países de

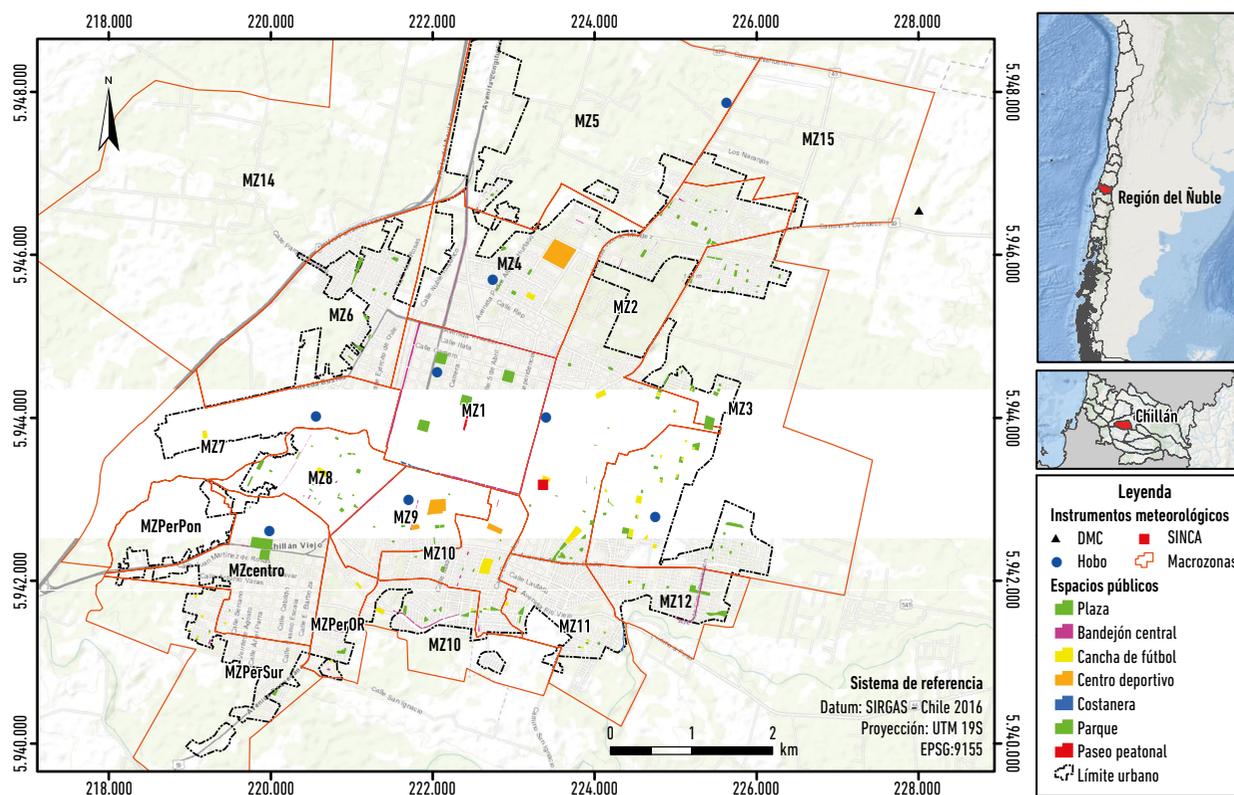


Figura 1. Área de estudio: ciudad de Chillán.

Datos: trabajo de campo (2015-2016); Imagen Google Earth (2015); Municipalidad de Chillán (2016).

Europa: España (5), Italia (3), Portugal (2), Grecia (2) e Inglaterra (1).

Los factores considerados para el cálculo del indicador de la calidad climática estival se encuentran en el Tabla 1 y fueron seleccionados considerando la disponibilidad de información a la escala de trabajo, que, al ser local, abarcaba toda la ciudad y su ámbito periurbano.

Las variables de entrada se estandarizaron en una escala de 0 a 1, asociado al grado de adecuación respecto del objetivo, que corresponde en este caso a la calidad climática. Para ello se utilizó la aplicación de escalamiento del software ArcGIS 10.4, de acuerdo con funciones de transformación y puntos de control a partir de umbrales definidos por la literatura o normativa (Tabla 2).

Determinación de la calidad climática a escala urbana

El cálculo de la calidad climática se realizó para las 16:00 hora local, momento en que se registra el pico diario de temperatura del aire. Se trabajó en el periodo de verano 2016, en el que se registraron eventos de

temperaturas extremas con valores por sobre los 36 °C. Para determinar la calidad climática se aplicó el método de evaluación multicriterio a través de una combinación lineal ponderada, definida como:

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

Donde: α_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 para la aplicación de este método la suma de los pesos asignados a los factores debe ser igual a 1.

Para definir el peso de los factores (w_j) se utilizó la metodología de proceso de jerarquía analítica propuesta por Saaty (1980). Mediante esta técnica se evalúa la importancia por pares de factores, utilizando la escala propuesta por el autor, que va de 1/9 a 9 (Tabla 3). A partir de esta metodología se obtiene el grado de importancia o peso de cada factor. Para controlar que la asignación de

Tabla 1. Variables consideradas para el cálculo de la calidad climática urbana

Variables	Método y fuente de información
Vegetación	Se calculó el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI). Para la espacialización del índice se calculó sobre una imagen satelital Sentinel 2 del 5 de marzo de 2016, obtenida en el servidor Earth Explorer. Los valores obtenidos varían entre -1 y +1. Para el cálculo de la calidad climática promedio se consideró el valor promedio del índice para el periodo de verano (entre 21 de diciembre de 2015 y 20 de marzo de 2016) e invierno (21 de junio de 2016-20 de agosto de 2016) sobre todas las imágenes Sentinel 2 disponibles (sin nubes) en cada uno.
Porcentaje de superficie impermeable	Se obtuvo a partir de una clasificación supervisada realizada en ArcGIS 10.4 de la imagen satelital Sentinel del 5 de marzo de 2016. Los valores van del 0 % al 100 % de impermeabilización.
Temperatura de emisión superficial	Calculada por Henríquez, Treimun, y Qüense (2018) sobre la imagen Aster del 25 de febrero de 2015.
Distancia a los cursos de agua	Distancia euclidiana a los cursos de agua (en metros) calculada en ArcGIS 10.4.
Temperatura atmosférica	Para la espacialización de los datos registrados por instrumentos fijos (véase figura 1), se realizaron interpolaciones con el método Inverse Distance Weighting (IDW), para las 16:00 hora local, considerando el promedio de la temperatura diurna del verano 2015-2016 y su valor para el 30 de enero de 2016, durante un episodio de ola de calor, cuando la temperatura supera los 32,6 °C.
Humedad relativa del aire	Para su espacialización se consideró el mismo proceso utilizado para obtener la temperatura atmosférica, para las 16:00 hora local, considerando el promedio de la humedad relativa del aire del verano 2015-2016 y su valor para el 30 de enero de 2016.
Ratio altura de las edificaciones y ancho de las calles	A cada construcción, se le asignó una altura estimada, según el número de pisos (a partir del Google Street View de Google Earth), y se estimó una altura de tres metros por piso, de acuerdo con la normativa de construcciones chilena. El ancho de la calle fue calculado en ArcGIS.
Calidad del aire	Se consideraron los promedios diarios de verano de material particulado respirable de 10 micrones (MP10) de estación INIA del Sistema Nacional de Calidad del Aire (Sinca) (véase figura 1) de la Subsecretaría de Medio Ambiente.

Tabla 2. Estandarización de los factores

	Regla de decisión
<p>Vegetación NDVI</p>	<p>Los valores negativos de NDVI recibieron el valor de 0 y los valores positivos (presencia de vegetación) se calificaron desde 0,01 a 1 de acuerdo con una función lineal.</p>
<p>Superficies impermeables</p>	<p>Los porcentajes de impermeabilización entre el 0 % y el 25 % fueron valorados con 1, de acuerdo con lo señalado por Henríquez Ruiz (2005). A partir del 26 % los valores disminuyen linealmente, hasta alcanzar el valor 0 (superficies totalmente impermeables).</p>
<p>Temperatura atmosférica y superficial</p>	<p>El valor 1 se asignó a la zona de confort para Chillán, entre los 21,1 °C y 27,02 °C*. A partir de estos límites, los valores disminuyen en una función lineal. El límite inferior corresponde al promedio de las temperaturas mínimas y el superior al umbral para declarar olas de calor (32,4 °C, DMC). A los valores sobre los límites se les asignó valor 0. Para invierno, la zona de confort quedó definida entre 19 °C y 26 °C (Renam 2017). Los límites definidos para la temperatura del aire se ajustaron para ser aplicados en la estandarización de la temperatura superficial, considerando la diferencia promedio (1,3 °C) entre ambas.</p>
<p>Humedad relativa del aire</p>	<p>El mayor valor, 1, se asignó a la zona de confort, definida entre el 20 % y el 80 % (Olgyay 1963). A partir de los límites se asignaron nuevos valores desde 0,99 a 9,0 en forma de campana.</p>
<p>Distancia a los cursos de agua</p>	<p>Los valores van de 0 a 4.088 metros y se estandarizan de 1 a 0 en función de la distancia de los cursos de agua: mientras más lejanos, menor aptitud.</p>
<p>Calidad del aire (MP10)</p>	<p>Se asumieron las 5 categorías definidas en la Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10 (D.S. N.º59 del 16 de marzo de 1998, que van desde Bueno (0 a 159 ug/m³N) hasta emergencia (> 330).</p>
<p>Ratio altura edificaciones/ ancho de las calles</p>	<p>Se consideró debido a su relación con el factor de visibilidad del cielo y la insolación de las superficies. Se asignó valor 1 cuando la altura era menor o igual al 50 % del ancho de la calle; 0,5 cuando la altura se encontraba entre el 50 % y el 100 % de la calle; y 0 a cualquier altura que superara el valor del ancho de la calle (Smith et ál., 2019).</p>

Nota: (*) el valor de la zona de confort para la temperatura atmosférica se refiere a los valores adaptados de Olgyay (1963) para la ciudad de Chillán, de acuerdo con su latitud.

Tabla 3. Escala de puntajes para la valoración entre pares de factores

1/9	7/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante					Más importante			

Fuente: Saaty (1980).

juicios de valor sea correcta, se calculó la razón de consistencia (*consistency ratio*, c. r.): valores inferiores a 0,1 se consideran aceptables.

Análisis de la calidad climática

Los valores resultantes del índice de calidad climática son adimensionales y se extienden de 0 a 1. Para el análisis de la calidad climática se consideraron cinco categorías que se presentan en la Tabla 4. El nivel muy alto de calidad climática corresponde a la condición ideal, en la que los valores de NDVI son cercanos a 1, la impermeabilización del suelo es inferior al 25 %, la temperatura del aire en la zona de confort (entre 21,1 °C y 27,02 °C), la humedad relativa del aire en zona de confort (entre el 20 % y el 80 %), la altura de las edificaciones es inferior al 50 % del ancho de la calle, mayor cercanía a algún curso de agua y existe buena calidad del aire.

Tabla 4. Categorías calidad climática urbana

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

Los resultados de la calidad climática urbana se cruzaron espacialmente con las macrozonas urbanas (véase figura 1), que agrupan a su vez a las juntas de vecinos, para poder realizar una diferenciación intraurbana de la ciudad de Chillán.

El resultado de la calidad climática se relacionó con el nivel socioeconómico —en adelante, NSE— predominante de los hogares a nivel de manzana. Se utilizó el NSE propuesto por Adimark en el 2003 y calculado para el 2013, que identifica cinco grupos mencionados en la Tabla 5, a partir de dos variables extraídas del *Censo de población y vivienda*: el nivel de educación del jefe de hogar (persona que en términos de ingreso aporta mayoritariamente al presupuesto familiar) y la tenencia de un conjunto de bienes en el hogar.

Finalmente, se obtuvo el valor promedio de calidad climática de todos los espacios públicos exteriores de la ciudad. Se utilizaron los espacios públicos reconocidos por Smith y Henríquez (2018) que incluyen parques, plazas, bandejones centrales, costaneras de río, centros deportivos, canchas de fútbol y paseos peatonales (véase figura 1).

Resultados

Calidad climática a escala urbana

De la consulta a expertos sobre factores incidentes en la calidad climática, la vegetación posee la mayor

Tabla 5. Características de los niveles socioeconómicos

	Nivel de educación (años promedio)	Tenencia de bienes promedio	Rango de ingresos (dólares)	% a nivel país
ABC1	16,2 años (Universitaria completa)	9,2	us2.460 o más	7,2
C2	14 años (Técnica completa o Universitaria incompleta)	7,2	us868- us2.459,9	15,4
C3	11,6 años (Media completa)	5,7	us578 – us867,9	22,4
D	7,7 años (Media incompleta)	4,4	us290- us577,9	34,8
E	3,7 años (Básica incompleta)	2,3	Igual o menor a us289,9	20,3

Fuente: Adimark (2003).

Nota: el valor promedio del dólar para 2003 fue de 691,4 pesos chilenos de acuerdo con las cifras publicadas por el Servicio de Impuestos Interiores (SII).

ponderación promedio, el 19,7 %. En segundo lugar aparece la calidad del aire, con el 17,5 %, y en tercer lugar la temperatura de emisión superficial, con el 14,3 %. El resto de los pesos se aprecian en el Tabla 6.

Tabla 6. Pesos asignados a cada factor por los expertos consultados

Factores	Ponderación promedio
Vegetación (NDVI)	0,197
Calidad del aire	0,175
Temperatura de emisión superficial	0,143
Distancia a cursos de agua	0,122
Superficies impermeables	0,114
Altura de las edificaciones	0,096
Temperatura del aire	0,089
Humedad relativa	0,067

Nota: la ponderación promedio se calculó a partir de la evaluación multicriterio en la que se consultó a expertos nacionales e internacionales. RC: 0,09.

Los factores consultados (parámetros meteorológicos como la temperatura, humedad y viento, y ambientales como la vegetación e impermeabilización) fueron mencionados por los expertos en relación con la pregunta abierta sobre qué factor incluiría para el cálculo de calidad climática a escala urbana. También fueron mencionados otros factores como: radiación solar material y temperatura de muros y pavimentos; forma, función y dimensión urbana; época del año; cantidad de personas; orientación; albedo; sombra; factor de visibilidad del cielo, y cobertura del suelo.

Pese a que las zonas mediterráneas se caracterizan por presentar altas temperaturas en verano, como sucede en la ciudad de Chillán, que posee un 21 % de sus horas diurnas de verano (entre las 8:00 horas y las 20:00 horas) afectadas por *discomfort* térmico (Smith, Lamarca y Henríquez 2019), la ponderación de las variables de temperatura y humedad relativa del aire fueron las más bajas.

Calidad climática urbana promedio

De acuerdo con los valores promedios (Tabla 7), tanto en verano como en invierno, la ciudad de Chillán se asocia a una alta calidad climática. En verano, si se compara el valor promedio con el valor más alto de temperatura del aire registrado a las 16:00 horas (35,1 °C el día 30 de enero), el nivel de calidad climática solo varía 0,04 puntos.

Tabla 7. Valor promedio de cada factor para la ciudad de Chillán

Factor	Promedio 16:00 horas, verano 2015-2016	Promedio 16:00 horas, invierno 2016
Vegetación (NDVI)	0,20	0,10
Calidad del aire atmosférica (MP10 ug/m ³)	32,99	69,80
Temperatura de emisión superficial (°C)	27,49	7,04
Distancia cursos de agua (m)	759,60	759,60
Superficies impermeables (%)	62	62
Altura de las edificaciones (m)	4,50	4,50
Temperatura del aire (°C)	29,96	14,70
Humedad relativa (H %)	28,90	65,50
Calidad climática urbana	0,70	0,62

Nota: los valores promedios se obtuvieron al considerar la metodología y las fuentes de datos señaladas en la tabla 1 para cada factor.

Durante el invierno, uno de los factores importantes para la ciudad de Chillán corresponde a la calidad del aire. El valor promedio de este factor coincide con un buen nivel de calidad del aire de acuerdo con la norma. Si se mantiene la buena calidad del aire y se considera el día de la estación que posee a las 16:00 horas la temperatura más baja (4,04 °C), la calidad climática disminuye a 0,56.

Ahora bien, si se mantiene la temperatura promedio 14,7 °C (véase tabla 5) y se aumentan las concentraciones de material particulado, sucede lo siguiente: con una calidad del aire regular (entre 150 y 194,5 ug/m³ de MP10), la calidad climática alcanza un valor de 0,58; al pasar a la condición de alerta (entre 195 y 239,5 de MP10), la calidad climática disminuye a 0,53; en preemergencia (entre 240 y 329,5 de MP10), el valor es de 0,48; y, finalmente, durante una emergencia (valor superior a 330), la calidad climática es de 0,38. De acuerdo a los datos de MP10 registrados por la estación de monitoreo Sinca, durante el invierno de 2016 se registraron 12 días en que la calidad del aire fue regular, 3 eventos de alerta, 2 de preemergencia y no se presentó ninguna emergencia (Figura 2).

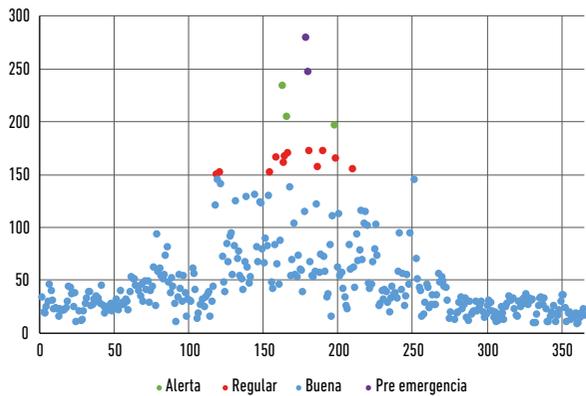


Figura 2. Calidad del aire diaria en Chillán, 2016.
 Datos: concentración promedio diaria de Material Particulado Respirable, Estación INIA de Calidad del Aire, disponible en el Sinca.

Construcción del indicador espacial de calidad climática urbana

Los valores de calidad climática urbana se extienden entre 0,1 y 0,9, aproximadamente. El promedio de calidad climática urbana se encuentra entre 0,6 y 0,7. La configuración espacial de la calidad climática en la ciudad, calculada con el promedio del verano 2015-2016, en general, es similar a la observada durante el día de medición evaluado (30 de enero de 2016).

Tal como se observa en el Figura 3, que representa la distribución de la calidad climática urbana promedio del verano 2015-2016 a las 16:00 horas, 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). Al interior de la

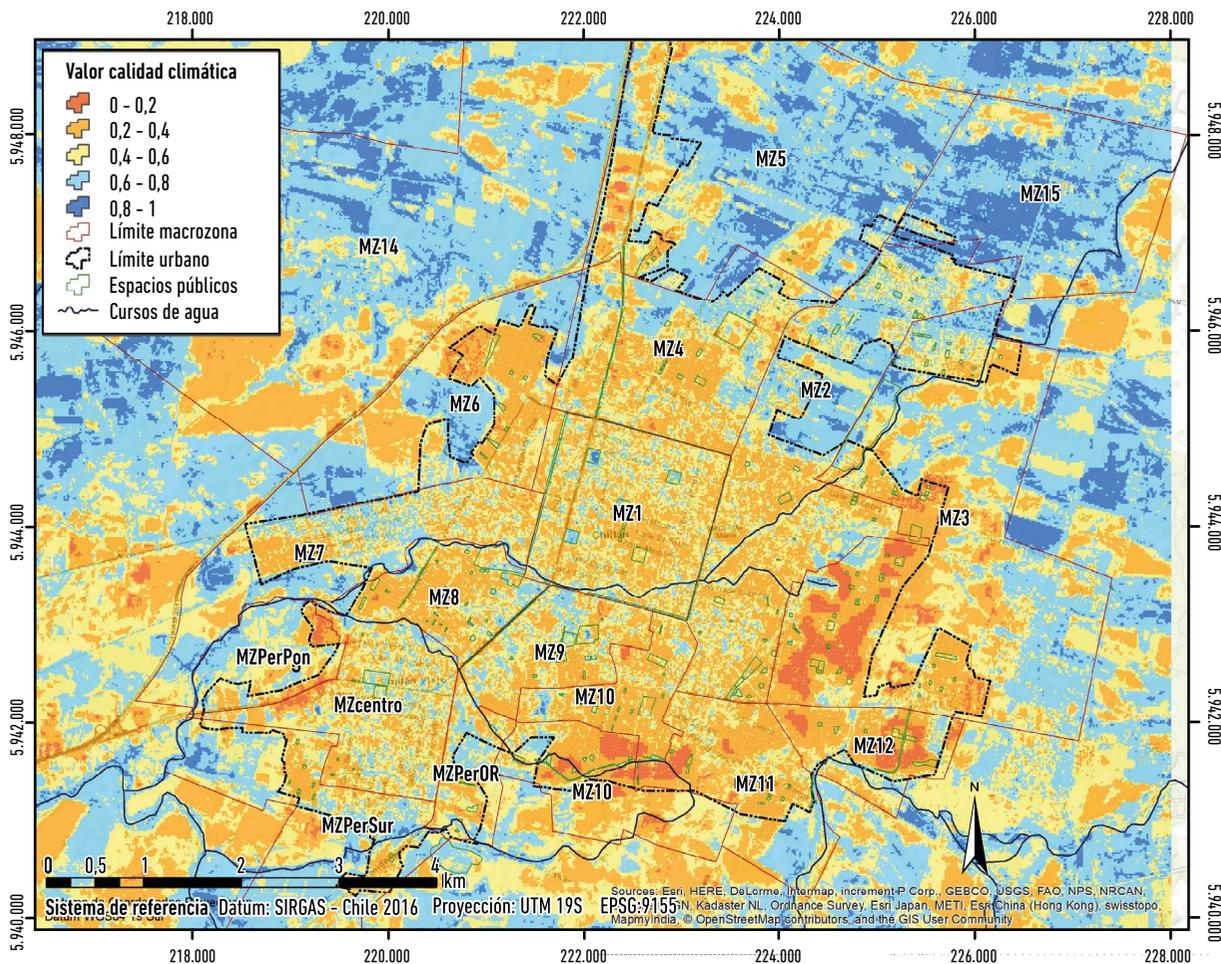


Figura 3. Calidad climática a escala local calculada a las 16:00 horas promedio de verano 2015-2016.
 Nota: la calidad climática fue calculada incluyendo los factores de la tabla 1, se estandarizaron considerando la tabla 2 y se ponderaron de acuerdo con los valores de la tabla 6.

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, 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). Los valores más altos (entre 0,8 y 1,0) se encuentran en las nuevas urbanizaciones del norte y nororiente de la ciudad, que corresponden a viviendas ubicadas al interior de condominios cerrados y parcelas de agrado.

Relación calidad climática y nivel socioeconómico

Chillán presenta una diferenciación interna que podría estar representando a los diferentes barrios que la componen. Para evaluar dicha diferenciación se consideraron 18 de las 20 macrozonas propuestas por el Plan

de Desarrollo Comunal (Ilustre Municipalidad de Chillán 2011), que agrupan a las 35 juntas de vecinos presentes en la comuna de Chillán y las 14 juntas de vecinos que posee Chillán Viejo. Se excluyeron aquellas macrozonas que incluían solo juntas de vecinos rurales.

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 %. Los NSE E y ABC1 son los menos representados en la ciudad; el NSE E se distribuye de manera aleatoria en la ciudad (Figura 4); y, por el contrario, el NSE ABC1 se concentra principalmente en el sector nororiente de la ciudad, en sectores de condominios cerrados y parcelas de agrado, en las macrozonas 5, 14 y 15 principalmente.

Las macrozonas 5, 14 y 15 corresponden a los valores más altos de NDVI (Figura 5). Es posible observar

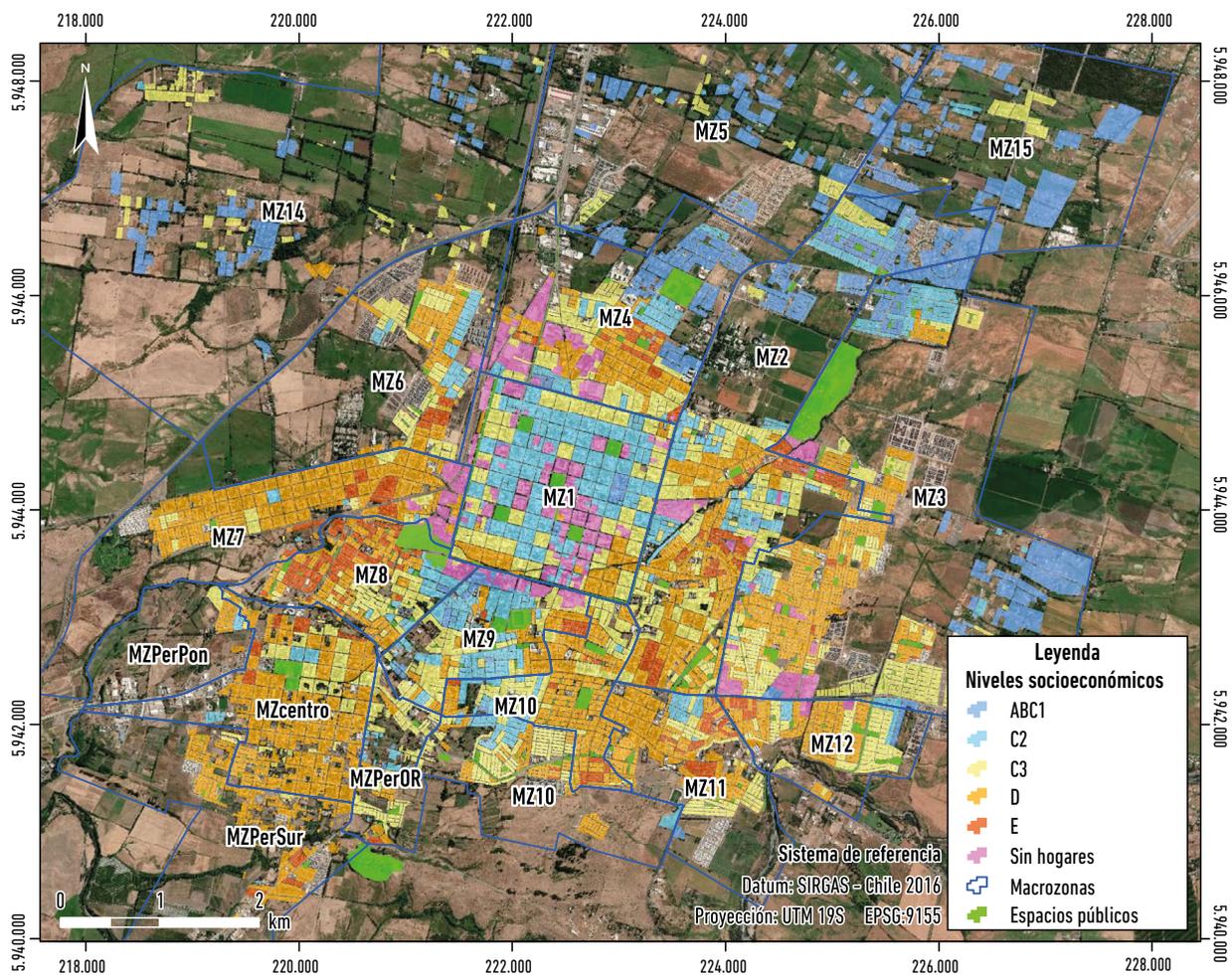


Figura 4. Niveles socioeconómicos (NSE), ciudad de Chillán, 2013. Datos: niveles socioeconómicos de Adimark (2013).

diferencias en el promedio del NDVI de hasta 0,3 entre las distintas zonas. La impermeabilización del suelo es también un factor que permite caracterizar y distinguir a las macrozonas de la ciudad. Lo anterior se traduce, a su vez, en diferencias similares en el valor de la calidad climática promedio para cada macrozona; así, cuando el NDVI aumenta, se observa un aumento en el valor de la calidad climática, un valor que disminuye ligeramente cuando se evalúa el día más cálido del verano, que corresponde, en este caso, al 30 de enero de 2016.

Relación calidad climática y espacio público

Finalmente, es posible distinguir diferencias en el valor de calidad climática del espacio público de acuerdo con nivel socioeconómico de sus manzanas vecinas. Así, este valor es mayor en aquellos que se ubican asociados a manzanas en que 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 8). Por esto, espacios públicos de una misma categoría, los bandejones centrales y las plazas, por ejemplo, presentes en todos los NSE, poseen valores más altos cuando se encuentran asociados a población ABC1, los cuales disminuyen conforme disminuye el NSE,

alcanzando una diferencia de 0,2 en el valor de calidad climática de las plazas que se encuentran vecinas a población ABC1 y E.

Tabla 8. Calidad climática urbana por tipo de espacio público y NSE

	ABC1	C2	C3	D	E	Total general
Bandejón central	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,46
Cancha			0,35	0,33	0,29	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
Plazas	0,61	0,56	0,42	0,36	0,40	0,45
Total general	0,58	0,53	0,43	0,37	0,38	0,44

Datos: calculados por el autor a partir del cruce de las capas de NSE 2013 (Adimark 2003) y espacios públicos (reconocidos por el autor).

Discusión y conclusiones

La construcción de un indicador de calidad climática permite reconocer, en primer lugar, aquellos factores

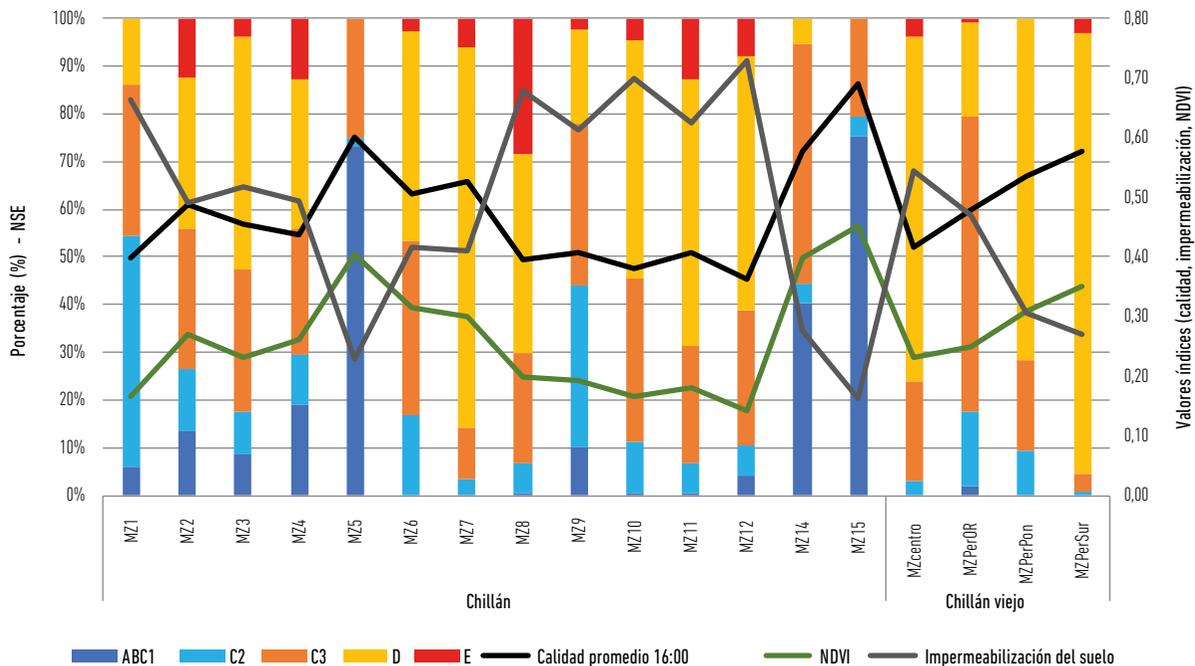


Figura 5. Distribución de macrozonas según NSE, calidad climática urbana, NDVI e impermeabilización del suelo. Datos: nivel socioeconómico de Adimark (2013). NDVI e impermeabilización obtenidos a través del método y fuentes descritos en la tabla 1 para cada factor.

que influyen sobre esta y, además, determinar su peso sobre el indicador. Incorporar el concepto de calidad climática permite abordar tanto el comportamiento de los parámetros meteorológicos como el de la calidad del aire, que son parte de los principales problemas de las ciudades del centro y centro sur de Chile. Así mismo, la especialización de la calidad climática urbana es un aporte original para identificar sectores más confortables y deficitarios a escala local. De esta forma, se pueden incorporar lineamientos en la planificación y diseño urbano, y dirigir los proyectos e inversión pública hacia los lugares que presentan peores condiciones morfológico-ambientales, para aumentar su calidad climática y, a su vez, disminuir su vulnerabilidad al cambio climático. Al ser un resultado preliminar, es necesario avanzar en la identificación de variables indirectas de contaminación atmosférica que sean geográficamente desagregadas para mejorar la especialización del indicador, así como otros factores urbano-climáticos que inciden en el indicador.

En primer lugar, la vegetación resultó ser el principal factor de acuerdo con la opinión de los expertos para calcular la calidad climática urbana. Esto es significativo a la hora de repensar la ciudad, ya que actualmente cuenta solo con 1,7 m² de áreas verdes públicas por habitante. A esto debe sumarse la vegetación privada que cumple un rol muy importante en la calidad climática. En este sentido, la protección de barrios como el sector de casa-huerto familiar en Chillán Viejo (macrozona centro) —que contiene todo tipo de árboles, jardines, agricultura urbana, entre otros servicios ecosistémicos—, resulta de gran relevancia para la sustentabilidad urbana (Henríquez Ruiz, 2005).

La calidad del aire es el segundo factor en orden de importancia del modelo. En efecto, algunos estudios han demostrado la enorme gravedad de este problema para la calidad urbana contemporánea; un estudio desarrollado en la ciudad de Barcelona (Sunyer et ál. 2015) ha demostrado que los contaminantes atmosféricos afectan la salud y el desarrollo cognitivo de los niños en muchas escuelas primarias expuestas a compuestos neurotóxicos, debido a su cercanía con las vías de transporte principal. Una figura como la propuesta podría ayudar a generar medidas o cambios en la localización de equipamiento sensible en la ciudad.

Es importante considerar que los umbrales de estandarización del modelo deben ser adaptados para otras ciudades de acuerdo a su latitud, como, por ejemplo, para los límites de la zona de confort térmica, como ocurrió en la presente investigación. Así mismo, cualquier cambio en la normativa de calidad del aire podría significar cambios en la normalización del factor.

El valor de la calidad climática urbana obtenida en Chillán se relaciona con el nivel socioeconómico. El promedio de calidad climática es mayor en las zonas de la ciudad donde habita la población ABC1: las macrozonas en que este nivel socioeconómico se presenta poseen buena calidad climática, con valores que superan los 0,6, versus los valores restantes, que se encuentran en torno a 0,4. Si bien se plantea que los espacios públicos podrían contrarrestar las diferencias anteriores, ofreciendo buenas condiciones ambientales y climáticas a la población, se observa que la calidad climática al interior de los espacios públicos asociados a NSE ABC1 gozan de mayor calidad climática. En los sectores donde vive población predominantemente del nivel ABC1 solo se encuentran parques y bandejones centrales, principalmente vegetados, lo que se demuestra con los mayores valores del NDVI. Las canchas de fútbol son una tipología de espacios públicos bastante numerosa, y todas ellas se ubican asociadas a población de ingresos medio-bajo, pertenecientes a los niveles socioeconómicos C3 y D. Las cubiertas de las canchas de fútbol son en todos los casos de pavimento o tierra, y corresponde a una tipología que requiere una baja inversión y menos mantención que un parque o plaza, lo que podría explicar que se prefiera su instalación sobre otros espacios públicos.

Lo anterior da cuenta de la existencia de (in)justicia climática urbana, concepto que surge para referirse a la desigual participación en las causas y efectos del cambio climático a escala nacional (Fisher 2015) y que según Bulkeley et ál. (2013) debiese ser aplicado también al interior de las ciudades. Los resultados demuestran que la identificación de los factores que explican la calidad climática es de gran potencial para la gestión ambiental urbana y, más aún, representan una oportunidad para incorporar la planificación sensible al clima (Oke et ál., 2017), al tener la visión espacialmente explícita de la distribución de la calidad climática urbana.

Los esfuerzos se deben dirigir hacia el aumento de la cantidad y calidad de factores que aporten mayor calidad climática en las macrozonas más deficitarias de la ciudad, que, por un lado, asegure una distribución territorial equitativa y que, a la vez, ponga a disposición de los habitantes de nuevos espacios que otorgan una buena calidad climática. Se debe impulsar una planificación urbana sensible al clima que incorpore medidas de diseño urbano y de protección de espacios privados que permitan asegurar una calidad climática óptima para todos sus habitantes.

Referencias

- Adimark. 2003. *Mapa socioeconómico de Chile: nivel socioeconómico de los hogares del país basado en datos del Censo*. Chile.
- Akbari, Hashem, Melvin Pomerantz y Haider Taha. 2001. "Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Improve Air Quality in Urban Areas." *Solar Energy* 70 (3), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X).
- Alcoforado, Maria-João. 2006. "Planning Procedures Towards High Climatic Quality Cities. Example Referring to Lisbon." *Finisterra* 41 (82), 49–64.
- Alcoforado, Maria-João, Henrique Andrade, António Lopes y João Vasconcelos. 2009. "Application of Climatic Guidelines to Urban Planning. The Example of Lisbon (Portugal)." *Landscape and Urban Planning* 90 (1): 56–65.
- Bellet, Carmen y Josep Maria Llop. 2004. "Miradas a otros espacios urbanos: las ciudades intermedias." *Geo Crítica/ Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales* 8 (165). Universidad de Barcelona. <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-165.htm>.
- Bitan, Arie. 1992. "The High Climatic Quality City of the Future." *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere* 26 (3), 313–329. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(92\)90007-F](https://doi.org/10.1016/0957-1272(92)90007-F).
- Bulkeley, Harriet; JoAnn Carmin, Vanesa Castán Broto, Gareth A. S. Edwards, y Sara Fuller. 2013. "Climate Justice and Global Cities: Mapping the Emerging Discourses." *Global Environmental Change* 23 (5): 914–925. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.010>.
- Danni-Oliveira, Inês Moresco. 2000. "Considerações sobre a poluição do ar em Curitiba-Pr face a seus aspectos de urbanização." Tesis de doctorado en Geografía, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- De Castro, Maria, Faisal Aljawabra, y Marialena Nikolopoulou. 2008. "Open Urban Space Quality: a Study in a Historical Square in Bath – UK." Presentada en PLEA, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin-Irlanda, del 22 al 24 de octubre.
- Fisher, Susannah. 2015. "The Emerging Geographies of Climate Justice." *The Geographical Journal* 181 (1): 73–82. <https://doi.org/10.1111/geoj.12078>.
- Henríquez Ruiz, Cristián. 2005. "El rol de la casa-huerto familiar en la sostenibilidad urbana." *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* 9 (194). Universidad de Barcelona. <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-194-70.htm>.
- Henríquez Ruiz, Cristián. 2014. *Modelando el crecimiento de ciudades medias. Hacia un desarrollo urbano sustentable*. Santiago de Chile: Ediciones UC, Colección Textos Universitarios.
- Henríquez Ruiz, Cristián, John Treimun, y Jorge Qüense. 2018. "Zonificación climático-ambiental urbana mediante la integración de técnicas de teledetección satelital, geostatística y SIG." En *Análisis geoespacial de los estudios urbanos*, coordinado por Judith Ley García y Jean-François Mas, 171–199. Mexicali (Baja California), México, D. F., y Cuauhtémoc (Chihuahua): Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Nacional Autónoma de México, Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/LB2016001.pdf.
- Ilustre Municipalidad de Chillán. 2011. "Actualización Plan de Desarrollo Comunal Chillán 2011–2015." Consultado el 15 de marzo de 2016. <https://www.municipalidadchillan.cl/sitio/documentos/PLADECO-2011-2015.pdf>.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2017. *Resultados del Censo de Población y Vivienda 2017*. <http://resultados.censo2017.cl/>.
- Minvu (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). 2007. *Medición de la superficie ocupada por las ciudades de Chile de más de 15.000 habitantes: 1993–2003*. Santiago de Chile.
- Martin Vide, Javier, Marc Montlleó, e Itzel Sanromá. 2016. "Barcelona: Urban Heat Islands." En *Cities and climate change urban heat islands*, editado por Jean-Jacques Terrin, 38–57. Parentheses.
- Municipalidad de Chillán (2016.). *Plan Regulador de Chillán. Ordenanza Local*. Consultado el 15 de marzo de 2017. <https://www.municipalidadchillan.cl/sitio/descargas/ORDENANZA-PLAN-REGULADOR.pdf>.
- Oke, Timothy, Gerald Mills, Andreas Christen, y James Voogt. 2017. "Climate-Sensitive Design." En *Urban Climates*, 408–451. Cambridge: Cambridge University Press.
- Olgay, Víctor. 1963. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.
- Renam (Red Nacional de Monitoreo). 2017. *Guía para mejorar condiciones de habitabilidad de las viviendas*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Consultado el 30 de noviembre de 2017. <http://storage.renam.cl/brochure%20RENAM%20final.pdf>
- Romero, Hugo, Fernando Ordenes, y Alexis Vásquez. 2003. "Ordenamiento territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudad de Santiago y ciudades intermedias en Chile." En *Desafíos de la Biodiversidad en Chile*, editado por E. Figueroa y J. Simonetti, 167–207. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. Nueva York: Editorial McGraw Hill.
- Salvati, Agnese, Helena Coch Roura, y Carlo Cecere. 2017. "Assessing the Urban Heat Island and Its Energy Impact on Residential Buildings in Mediterranean Climate: Barcelo-

- na Case Study." *Energy and Buildings* 146 (1): 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.025>.
- Sarricolea, Pablo, María Herrera-Ossandon, y Óliver Meseguer-Ruiz. 2017. "Climatic Regionalization of Continental Chile." *Journal of Maps* 13 (2): 66-73. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>.
- Scudo, Gianni, y Valentina Dessi. 2006. "Thermal comfort in urban space renewal." Presentada en PLEA, *23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Geneva- Suiza, del 6 al 8 de septiembre.
- Smith Guerra, Pamela, y Cristián Henríquez Ruiz. 2018. "Microclimate Metrics Linked to the Use and Perception of Public Spaces: The Case of Chillán City, Chile." *Atmosphere* 9 (5): 1-16. <https://doi.org/10.3390/atmos9050186>.
- Smith Guerra, Pamela, Cristóbal Lamarca, y Cristián Henríquez Ruiz. 2019. "A Comparative Study of Thermal Comfort in Public Spaces in the Cities of Concepción and Chillán, Chile." En *Urban Climate in Latin-American Cities*, editado por Cristián Henríquez Ruiz y Hugo Romero, 111-136. Países Bajos: Springer Nature.
- Stewart, Iain, y Timothy Oke. 2012. "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies." *American Meteorological Society* 93 (12): 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.
- Sunyer, Jordi, Mikel Esnaola, Mar Álvarez-Pedrerol, Joan Forns, Ioar Rivas, Mònica López-Vicente, Elisabet Suades-González, Maria Foraster, Raquel García-Esteban, Xavier Basagaña, Mar Viana, Marta Cirach, Teresa Moreno, Andrés Alastuey, Núria Sebastian-Galles, Mark Nieuwenhuijsen, y Xavier Querol. 2015. "Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools & Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study." *PLOS Medicine* 12 (3). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>.

Pamela Smith Guerra

Geógrafa y magíster en Gestión y Planificación Ambiental de la Universidad de Chile, y doctora en Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Académica asistente del Departamento de Geografía, Universidad de Chile. Temas de investigación: clima urbano y cambio climático en la ciudad. Bajo enfoques cuantitativos y cualitativos, estudia la relación entre el clima y la sociedad, e identifica cómo el clima se construye socialmente y, a su vez, cuáles son sus efectos sobre la salud y calidad de vida de la población.

Cristián Henríquez Ruiz

Geógrafo de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Diplomado en Gestión Ambiental Municipal. Doctor en Ciencias Ambientales del Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción. Sus principales líneas de investigación son la sustentabilidad urbana, las ciudades medias y el análisis espacial de cambio de uso de suelo con técnicas geomáticas. Actualmente es investigador responsable del proyecto Fondecyt n.º 1180268 e investigador asociado del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (Cedeus). Miembro del Centro de Cambio Global (PUC), Centro de Desarrollo Local (PUC), Grupo Asesor de Medio Ambiente GAMA (PUC) y de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas (Sochigeo).