

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE TEMPERATURAS SUPERFICIALES Y
TEJIDOS URBANOS COMO INSUMO PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA.
EL CASO TEMUCO-PADRE LAS CASAS, 2013

Juan Pablo Frick Raggi
Universidad Católica de Temuco¹
jfrick@uct.cl

Fecha de recepción: 26 de febrero de 2018
Fecha de aceptación: 26 de octubre de 2018

RESUMEN

Se analiza el patrón de distribución espacial de las temperaturas de emisión superficial del área urbana de Temuco y Padre Las Casas, y su relación con tipologías de ocupación de suelo. Se analiza los parámetros de cobertura vegetal y reflectividad, y la distribución de material particulado. Se utilizó imágenes Landsat, SIG y el catastro de emisiones de material particulado. Los principales hallazgos indican que las temperaturas superficiales del área urbana consolidada se presentan con marcados contrastes en cuanto a su distribución espacial, presentándose con una alta heterogeneidad y un importante desarrollo de zonas con mayores temperaturas en sectores específicos. El principal factor que explica esta distribución es la reflectividad de las superficies, indicando una relación más estrecha con la materialidad y características de las cubiertas de los elementos construidos que con el tipo de tejido urbano. Se discute cómo esto podría condicionar la distribución de material particulado al interior del área urbana.

Palabras clave: isla de calor urbana, tipologías urbanas, planificación urbana sostenible.

Analysis of the Relationship between Urban Surface Temperatures as a Means for Urban Planning. A case study for Temuco- Padre Las Casas, 2013

ABSTRACT

The spatial distribution pattern of surface-emitting temperatures within the urban area of Temuco and Padre Las Casas is analyzed. Its relation to the types of land use, the explanatory

¹ Departamento de Ciencias Ambientales.

parameters such as vegetation cover and reflectivity and the distribution of particulate matter is evaluated. Landsat image, GIS and cadastre of emissions of particulate matter was used. The results indicated that surface temperatures of the consolidated urban area, presenting with marked contrasts in their spatial distribution, occur with high heterogeneity and an important development of areas with higher temperatures in specific sectors. The main factor behind this distribution is the reflectivity of the surface, indicating a closer relationship with the materiality and features covers of built elements than with the type of urban structure. We discuss how this might determine the distribution of particulate material into the urban area.

Keywords: urban heat island, urban typologies, sustainable urban planning.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos treinta años un tema que ha emergido con fuerza es el de los cambios globales asociados con sistemas naturales y, en particular, la relación entre estos cambios y las influencias antrópicas. En este sentido, las ciudades representan una de las mayores expresiones de la transformación del medio natural por la acción humana, generándose importantes impactos ambientales, entre los que destaca la alteración de las condiciones climáticas locales, al introducir variaciones en los parámetros meteorológicos más ligados a las condiciones de la superficie subyacente (Fariña, 2001). Precisamente esta afectación modificadora de las condiciones previas del territorio sobre el que se implanta hace que la ciudad tenga la propiedad de ser, en gran medida, productora de sus propias condiciones medioambientales (Carreras, Marin, Martín, Moreno y Sabí, 1990). Las transformaciones recientes —resultado de una ocupación explosiva del territorio—, han producido la dispersión de la ciudad y, con ella, la insularización de los espacios naturales de borde con la consiguiente pérdida de biodiversidad; la impermeabilización y el sellado de superficie; la distorsión del ciclo hídrico; un excesivo consumo de materiales, de agua y de energía y, con ello, una alta emisión de contaminantes atmosféricos. Una de las características más relevantes de los procesos de urbanización, es la diferencia de temperatura que se produce entre la ciudad y su entorno rural inmediato, fenómeno conocido como isla de calor (Azócar, Sanhueza y Henríquez, 2003).

Los cambios climáticos en las ciudades son resultado de los procesos de crecimiento espacial no controlado de las superficies urbanas, y del desaparecimiento desaprensivo de las áreas verdes y cultivadas, que se ubicaban previamente en los terrenos que han transformado sus usos y coberturas de los suelos (Romero, Salgado y Smith, 2010). Los desafíos y las oportunidades del cambio climático en el futuro, a largo, mediano y corto plazo, están reconocidos como elementos fundamentales en la planificación estratégica para el siglo XXI, y la forma de abarcarlos y planificar es a través de la mitigación y la

adaptación (Barton, 2006). Estos cambios son un fenómeno aún en desarrollo y su acentuación depende del acoplamiento entre la generación de islas de calor urbano y los procesos globales de calentamiento atmosférico. En contrapartida, la reducción del calor urbano se lograría con acciones de mitigación y adaptación, muchas de las cuáles deberían formar parte de la planificación ecológica de las ciudades, así como del diseño de sus construcciones e infraestructura urbana (Romero et al., 2010). En este sentido, cobra gran relevancia que la planificación urbana se oriente hacia una planificación estratégica de las ciudades, como herramienta para mitigar las influencias antrópicas y adaptarse a los impactos que ya están en curso (Barton, 2009). Por ello, el rol de las ciudades en el proceso de adaptación requiere precisión e inserción en la planificación sectorial y territorial (Barton, 2009). Anticipar los cambios y planificar en torno a ellos en elementos como infraestructura y vivienda es clave para reducir los riesgos asociados.

La constatación de la existencia de las anomalías térmicas que producen las ciudades es relativamente temprana. Se verificó por primera vez en la ciudad de Londres por el climatólogo inglés Luke Howard en 1818. Estudios posteriores en París y en Viena confirmaron el mismo fenómeno, que en 1958 fue denominado por Manley como actualmente la conocemos: isla de calor urbana (Jáuregui, 2005). Consiste en el exceso de calor generado en un ambiente urbano, e indica que las ciudades son, en general, más cálidas que su periferia. Esto es producto de un núcleo cálido que se origina tanto por las emisiones de la ciudad, como también por los materiales que la componen por consecuencia de la impermeabilización y urbanización de los suelos (Capelli de Steffens, Pícolo, Hernández y Navarrete, 2001). La hipótesis general señala que una superficie urbanizada eleva su temperatura como resultado de la reducción de la cobertura vegetal, la reflectividad y el contenido de humedad del suelo (Peña, 2006). Algunas de las principales causas de este fenómeno son las diferencias en el balance de energía entre los distintos componentes de la ciudad, la reducción de la evaporación —producto de la disminución de la vegetación—, el incremento del almacenamiento de calor por parte de la ciudad, así como la generación de calor antropogénico, producto de la actividad humana (Gartland, 2009). La sustitución del suelo natural por superficies impermeables —asfalto, pavimento— sumado al sistema de drenaje artificial, impide transformar la energía solar a través de los procesos de fotosíntesis o evaporación del agua, lo que contribuye a la acumulación de calor (Oke, 1987). De forma menos frecuente, las islas de calor también pueden originarse sobre superficies no urbanizadas, escasamente vegetadas y con bajo contenido de humedad que —al igual que los materiales de construcción urbanos— pueden tener un comportamiento térmico favorable para su recalentamiento (Peña, 2006), lo que puede implicar que zonas sin urbanizar puedan presentar mayores temperaturas superficiales que algunas zonas urbanizadas.

La mayoría de las investigaciones sobre el fenómeno de las islas térmicas urbanas se han realizado en países de latitudes subtropicales. Sin embargo, en la última década, han comenzado a surgir trabajos sobre ciudades latinoamericanas que han contribuido a ampliar el conocimiento de este fenómeno. Al respecto, Ángel, Ramírez y Domínguez (2010), evidenciaron en Bogotá la presencia de una isla de calor que se extiende por la mayor parte de la ciudad, y que supera en cerca de 3 °C a la temperatura media de la periferia, al analizar datos de estaciones meteorológicas. En Caracas, mediante la utilización de Imágenes Satelitales, Córdova (2011) observó variaciones en los patrones de la temperatura superficial urbana, y determinó la intensidad y extensión de anomalías térmicas superficiales.

También han desarrollado estudios en el cono sur, donde de Schiller (2000) se evalúa la presencia de islas de calor en dos ciudades argentinas. Primero se analiza Buenos Aires, donde sus resultados muestran diferencias de temperatura de 2-3 °C entre al área urbana y su entorno inmediato. Adicionalmente, realizaron estudios de la isla de calor en Río Gallegos, ciudad de menor tamaño y población donde, a pesar de las condiciones climáticas, la intensidad de la isla de calor registró una diferencia de 4 °C.

En el caso de Chile, estudios realizados mediante la utilización de imágenes satelitales Landsat y otras técnicas en la metrópoli de Santiago, ciudades grandes como Valparaíso, y ciudades intermedias como Chillán, Rancagua, Los Ángeles y Temuco, concluyen que se han desarrollado islas de calor urbano asociados a los cambios de usos y coberturas de los suelos causados por el rápido, continuo y persistente proceso de urbanización (Henríquez, Azócar y Sanhueza, 2002; Romero et al., 2010). Sarricolea, Aliste, Castro y Escobedo, (2008) analizan la máxima intensidad de la Isla de calor urbana de Rancagua a partir de mediciones de las temperaturas con transectos móviles y estaciones meteorológicas fijas, además de la utilización de imágenes Landsat, determinando que la máxima intensidad de la isla de calor urbana de Rancagua bordea los 6 °C en verano y primavera, y 3 °C para invierno y otoño. Capelli de Steffens et al. (2001) analizan la isla de calor urbana estival en la ciudad de Temuco, para lo que efectuaron mediciones de temperatura del aire y humedad a través de la ciudad para determinar la forma y la intensidad de la isla de calor urbano. Concluyen que la ciudad presenta un comportamiento térmico diferenciado a lo largo del día, generándose una isla de calor que responde en líneas generales al modelo ideal de calentamiento urbano.

Las características físicas de los materiales en la ciudad muy distintas a los del medio natural provocan grandes diferencias en el albedo, siendo éste en términos generales menor en la superficie urbana, por lo que hay gran retención de calor (Alarcón, 2009). Sin embargo, la ciudad posee diferencias en la distribución de los valores térmicos dentro de ella, debido a que las coberturas de suelo urbano presentan una gran variabilidad. Por la existencia de zonas con diferentes usos y coberturas de suelos, densidades de construcciones y diseños urbanos, existe un complejo patrón espacial y temporal de las

islas de calor. Esto se traduce en que sus diferentes elementos constituyentes como los edificios, calzadas, techos y cubiertas vegetales, muestren un comportamiento desigual en cuanto a sus índices de reflexión de la radiación solar, determinando así una diferenciación espacial en las pérdidas y ganancias de calor. Como consecuencia de esto, al interior de la ciudad se establece una variación térmica intraurbana, que se manifiesta como archipiélagos térmicos donde se observan islas de calor y frío (Romero y Molina, 2007). El albedo urbano influye notablemente en la reflectividad y la absorción de energía solar por parte de las cubiertas terrestres. Un mayor albedo implica una menor acumulación de calor, y por consiguiente, una merma las islas de calor.

Al respecto Romero et al. (2010), cita a Lowry (1977), quien sostiene que el estudio de las diferencias entre zonas urbanas y rurales es poco efectivo para identificar los efectos de la urbanización sobre variables climáticas, como la temperatura, por lo que propone clasificar y analizar subzonas urbanas integrando el paisaje local y las características específicas del lugar. También plantea que Withford, Ennos y Handley (2001) establecieron una diferencia de hasta 7 °C de temperatura de emisión superficial entre zonas con 15% y 50% de área verde.

Para evidenciar este fenómeno, es necesario contar con información que permita diferenciar las temperaturas superficiales al interior de la ciudad. Las técnicas tradicionales empleadas para medir parámetros climáticos, han sido la utilización de datos provenientes de estaciones meteorológicas fijas y de transectos móviles (Romero et al., 2010; Capelli de Steffens et al., 2001). Sin embargo, estas técnicas presentan algunos inconvenientes que dificultan su utilización. Las estaciones meteorológicas convencionales, por lo general, se encuentran ubicadas en los aeropuertos -situados fuera de la ciudad-, o bien lo hacen sobre paisajes estandarizados que justamente evitan el efecto de los factores urbanos locales (Romero et al., 2010). Por otro lado, en algunas ciudades la densidad de estaciones no es suficiente para poder establecer certeramente la variabilidad espacial del parámetro medido a una escala intraurbana, lo que tiende a homogeneizar la distribución espacial de la variable, impidiendo la diferenciación. Respecto a los transectos móviles, la mayor dificultad radica en el despliegue operativo que requieren, lo que limita enormemente su utilización para hacer un monitoreo sistemático, dado el alto costo de implementación y la logística en terreno requerida.

Ante este escenario, la teledetección satelital se establece como una técnica muy apropiada para ser utilizada en los estudios de clima urbano, específicamente en el monitoreo de la variabilidad térmica intraurbana. Esto debido a que los sensores situados en satélites captan la temperatura radiante de las superficies urbanas que codifican la radiación emitida por la superficie terrestre en la dimensión del infrarrojo térmico del espectro electromagnético -temperaturas superficiales-, empleándose el concepto de isla de calor de superficie para referirse a la elevación de la temperatura superficial de un área en relación con la de su entorno (Arnfield, 2003; Stone y Rodgers, 2001; Voogt,

2003) lo que permite un análisis detallado de la distribución espacial de la misma y su correlación con variables urbanas (Fernández y Moreno, 2004). Por lo general, las temperaturas superficiales de las coberturas del suelo presentan una alta correlación con las temperaturas atmosféricas, principalmente aquellas medidas en el volumen de aire próximo a la superficie urbana, lo que valida el empleo de imágenes satelitales térmicas como fuentes de datos fiables para inferir las características de la isla de calor (Arnfield, 2003; Stone y Rodgers, 2001).

El aumento en la demanda de energía en las áreas urbanas, causado por la actividad industrial, el uso de vehículos, las calefacciones y otras actividades humanas, favorecen el aumento de la contaminación ambiental, causada por las emisiones de material particulado de diferentes tamaños (Romero et al., 2010). Como consecuencia de esto, la atmósfera urbana suele contener gran cantidad y variedad de partículas en suspensión, algunas de ellas contaminantes. Así se puede llegar a producir episodios que alteren la calidad de vida de sus habitantes (Capelli de Steffens et al., 2001).

Uno de los contaminantes de mayor presencia en las ciudades es el material particulado PM10, el que está constituido por una mezcla heterogénea de sustancias químicas y partículas de tamaño menor a 10 micrones emitidas directamente al aire y totalmente respirables. La población está regularmente expuesta a ella y las concentraciones de PM10 han sido correlacionadas con la ocurrencia de enfermedades y muertes, causadas especialmente por problemas respiratorios y cardiovasculares (Ostro, Valdés y Sánchez, 1998). Este material particulado presenta una gran variabilidad en su distribución espacial, dado que hay ciertos factores que contribuyen a su concentración en sectores específicos. La isla de calor es uno de estos factores, ya que genera una convergencia del aire superficial desde zonas de menor temperatura hacia zonas de mayor temperatura. Este flujo convergente tiende a reducir la ventilación dentro de la ciudad, lo que contribuye a dificultar la dispersión de los contaminantes. Esto favorece su concentración sobre las zonas más cálidas y origina la típica formación urbana denominada cúpula de contaminantes, que se ve incrementada por situaciones anticiclónicas y que solo puede ser eliminada por la llegada de frentes fríos que aporten vientos y lluvias a la ciudad (Oke, 1997).

La totalidad de las ciudades chilenas están sometidas a episodios de inversiones térmicas que tornan altamente vulnerables sus condiciones atmosféricas, por lo que la planificación ambiental urbana debe controlar especialmente el crecimiento de las fuentes de contaminación y la generación de áreas cálidas hacia las cuales se dirijan las masas de aire contaminadas, como sucede con las islas de calor (Romero et al., 2010), como establecen algunos autores al plantear que la introducción de nuevas superficies construidas aumentan los niveles de contaminación atmosférica que se relacionan directamente con el incremento de las temperaturas (Pauleit, Ennos y Golding, 2005; Whithford et al., 2001; Oke, 1998).

Dado que la urbanización es uno de los principales factores de incremento de la temperatura a escala local, el control y manejo de los climas urbanos se establece como una tarea relevante para la planificación y gestión ambiental de las ciudades (Oke, 1987), mediante la optimización de los usos de suelo urbano para minimizar las cargas ambientales sobre el sistema (Haber, 1999). Dado que en Chile la planificación urbana se entiende como el proceso que se efectúa para orientar y regular el desarrollo de los centros urbanos (Ministerio de Vivienda y Urbanismo [Minvu], 2005), para que este proceso sea ambientalmente sustentable y contribuya a mejorar la calidad de vida de la población que habita en las ciudades, es necesario que se elaboren evaluaciones ambientales urbanas que aporten conocimientos que se integren como parte de los planes y programas de planificación y gestión urbana (Opazo, 2010).

En las últimas décadas, en las ciudades chilenas han ocurrido importantes procesos de expansión urbana impulsados por las transformaciones económicas, sociales, culturales y ambientales que han experimentado (Romero y Molina, 2007). Esto se ha reflejado en complejos patrones de ocupación del suelo que se expresan en un mosaico de diversas tipologías de ocupación (Salinas y Pérez, 2011).

En particular, la ciudad de Temuco ha experimentado un significativo cambio en su estructura urbana, producto de un acelerado y continuo proceso de crecimiento poblacional, el que se acentuó a partir de la década del sesenta. En ese momento comenzó a constituirse en un polo de atracción para los diferentes habitantes de las ciudades del sur del país y de la misma región (Romero, Toledo, Ordenes y Vásquez, 2001). En este escenario, el rol urbano de la ciudad ha ido gradualmente absorbiendo las otras funciones del territorio comunal. La tendencia ha sido disminuir la población rural y propiciar la especialización del territorio en actividades relacionadas a los servicios y comercio, aumentando a su vez la población y superficie urbana (Minvu, 2007). Este explosivo crecimiento de la superficie urbanizada del área urbana de Temuco y Padre Las Casas, ha traído aparejado una serie de impactos ambientales, entre los que destaca el serio deterioro de la calidad del aire urbano. Durante el periodo otoño-invierno de cada año, la población está expuesta a niveles peligrosos de contaminantes atmosféricos, principalmente material particulado respirable PM10. Las principales fuentes de contaminación son las estufas y cocinas a leña (Sanhueza et al., 2006).

En el mes de marzo del año 2005, estas comunas fueron declaradas zonas saturadas de PM10. A partir de esta declaración, se dio inicio a la estructuración del Plan de descontaminación de dichas comunas, el cual establece medidas tendientes a recuperar la calidad del aire de Temuco y Padre Las Casas. En términos generales las medidas que se han tomado en el marco de este plan han puesto énfasis en la reducción de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña, complementado también con medidas de control de las fuentes industriales, transporte y agrícolas (Comisión Nacional del Medio Ambiente [Conama], 2005).

Sin embargo, la problemática de la contaminación atmosférica no ha sido abordada desde la óptica de la planificación urbana, que debería incorporar en sus instrumentos lineamientos que orienten el desarrollo de la ciudad, mediante el diseño de alternativas de crecimiento sustentable que reduzcan o mitiguen la formación de islas de calor. Se debería buscar, por ejemplo, contribuir a reducir la concentración de contaminantes en el área urbana, través de la planificación del crecimiento urbano

En este sentido, el propósito del presente trabajo es analizar el patrón de distribución espacial de las temperaturas de emisión superficial al interior del área urbana, estableciendo ciertos paralelos entre esto y las tipologías de ocupación del suelo. Esto servirá para luego identificar los parámetros que podrían explicar dichos paralelos, tales como la morfología del tejido urbano, la compacidad (que expresa la idea de proximidad urbana, aumentando el contacto y la posibilidad de interconexión entre los ciudadanos) de este, su cobertura vegetal o reflectividad. Finalmente, el trabajo discute cómo estas características pueden incidir en la distribución de material particulado al interior del área urbana. Para lo anterior, la investigación establece una hipótesis operativa, la cual da cuenta que pese a que la literatura plantea que existe una relación entre la ciudad, en tanto hecho construido, y el aumento de la temperatura superficial en relación a su contexto inmediato, no siempre es posible establecer una relación clara entre la morfología de los tejidos urbanos y la variación que pueda registrar la temperatura superficial, ya que pueden existir otras variables que expliquen de mejor forma el fenómeno distributivo de las temperaturas superficiales. Con esto se espera contribuir a una planificación urbana ambientalmente sustentable del área urbana consolidada de Temuco - Padre Las Casas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

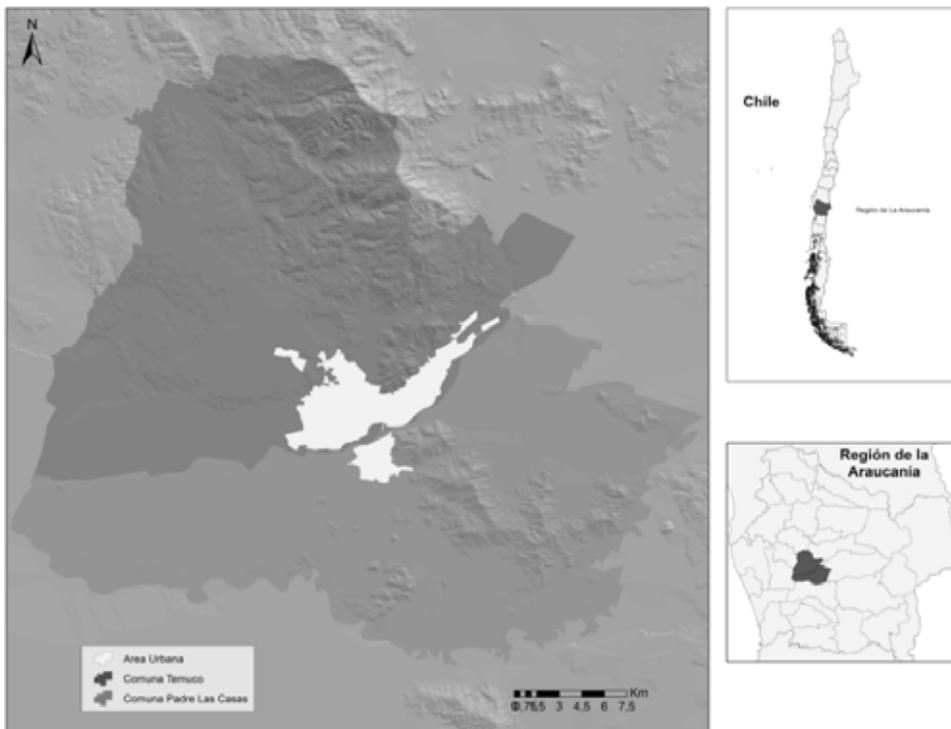
El sistema urbano Temuco-Padre Las Casas es la cabecera administrativa de La Araucanía, donde su jerarquía funcional y demográfica supera ampliamente a las otras ciudades mayores como Angol y Villarrica, en la Región o Valdivia y Los Ángeles en las regiones vecinas.

Este estudio se llevó a cabo en el área urbana consolidada de la conurbación Temuco-Padre Las Casas en el año 2013 (Figura 1). Esta se encuentra localizada en el centro sur de Chile (38° 45' S y 72° 40' W). El sitio de emplazamiento morfológicamente corresponde a terrazas fluviales del río Cautín que se desarrollan en forma encajonada entre los cerros Ñielol (350 m.) y Conunhueno (360 m.). Climáticamente, corresponde a la región mediterránea chilena de depresión intermedia, con clima subtropical en transición a templado húmedo. A través del año se alternan las influencias anticiclónicas y ciclónicas, con un período seco estival corto si se lo compara con el de Santiago u otras ciudades intermedias (Capelli de Steffens et al., 1997).

En cuanto a la población, el área urbana de Temuco-Padre las Casas ha mantenido entre períodos intercensales una variación porcentual sobre la media nacional de 2,87%, y particularmente en el sector de Padre las Casas, que debido al fuerte crecimiento experimentado en los último veinte años se ha constituido como una nueva comuna. En términos de población, si bien la Región de la Araucanía presenta un crecimiento por debajo del promedio nacional, la conurbación formada por las comunas de Temuco y Padre las Casas mostró una tendencia diferente. En particular, la comuna de Padre las Casas registró crecimiento de 3,03%, aumentando en 41,66% el número total de viviendas para el periodo 2002- 2012 (Figueroa, 2013).

El rápido crecimiento demográfico experimentado por la conurbación Temuco-Padre Las Casas se ha traducido en una acelerada expansión física, producto de una fuerte inmigración. Esto ha reforzado la primacía de Temuco, consolidando su gravitación en un área de influencia que supera a la Región de la Araucanía y ha generado una demanda habitacional que no se cubre dentro de la ciudad. Es así que en los últimos años la expansión ha sido absorbida en parte por localidades vecinas, como las cercanas Cajón y Labranza, creándose una estructura de centros urbanos con distintos niveles de gravitación (Minvu, 2007).

Figura 1. Área de estudio



Delimitación del área urbana y clasificación topológica

El área urbana consolidada fue delimitada mediante fotointerpretación y digitalización sobre una imagen GeoEye del año 2013, a una escala de 1:25.000, para lo cual se emplearon criterios de discriminación como textura, forma, patrón y tonalidad para diferenciar el espacio urbano del rural. El proceso fue realizado considerando el área urbana consolidada de la conurbación Temuco-Padre Las Casas en el año 2013. Esto implica que no se consideraron zonas que si bien pueden estar dentro del límite urbano establecido en los instrumentos de planificación territorial de cada comuna, no presentan un uso urbano característico. Se excluyeron áreas de protección y áreas de restricción, además de zonas residenciales especiales de muy baja densidad que se encuentran fuera del área consolidada.

Para realizar la clasificación de tipologías urbana en el área consolidada, se tomó como base la clasificación propuesta por Salinas y Pérez (2011), adaptada del proyecto Corine Land Cover, puesto que esta categorización se centra específicamente en las superficies artificiales o construidas. Se incorporaron dos tipologías más a las tipologías originales y se reagruparon algunas, a modo de ajustarse a la configuración urbana presente en el área de estudio.

Temperatura superficial del área urbana consolidada y relación con parámetros explicativos

Las temperaturas de emisión del área urbana consolidada se obtuvieron a partir del procesamiento digital de la banda 6L de la subescena satelital Landsat ETM de parte de la Región de la Araucanía, adquirida el 8 de agosto de 2013 a las 14:43 PM, hora local, con una resolución espacial de 60 metros. La fecha de la imagen obedece a que se buscó relacionar la temperatura superficial del área urbana con las emisiones de material particulado, y como éstas tienen su pico en los meses de invierno, se utilizó una imagen correspondiente a ese periodo, que contuviera un porcentaje de nubosidad inferior al 10%.

Dado que se pretendía transformar los niveles digitales de los píxeles de la imagen a un parámetro físico como la temperatura, fue necesario realizar la corrección radiométrica de la imagen. Para ello se utilizó el modelo de sustracción de objetos oscuros, también conocido como método de Chaves, mediante el módulo Atmos de Idrisi Selva. En el mismo programa se realizó la conversión de los niveles digitales de la imagen a temperatura en grados Celsius, para lo que se empleó el módulo Thermal, en el cual se incluyeron todos los parámetros necesarios para la conversión. Posteriormente la imagen resultante fue exportada a ArcGIS 10, donde fue recortada para dejar la imagen de temperatura superficial solo para el área de interés del trabajo. Para analizar el patrón de distribución espacial de la variable en cuestión, se realizó un análisis de la

distribución de los datos de temperatura y un análisis exploratorio para ver el grado de autocorrelación entre ellos, utilizando el Índice de Moran en Idrisi mediante el módulo spatial autocorrelation de Idrisi.

La reflectividad y contenido de humedad del suelo fueron obtenidos a partir de una transformación ortogonal (*tasseled cap*) en Idrisi (Eastman, 2003), que realiza una combinación de bandas, lo que se sustenta en la alta correlación que existe entre las bandas reflectivas (visible, infrarrojo cercano y medio) (Huang, Wylie, Yang, Homer y Zylstra, 2001). Como resultado de esta transformación se tomaron dos de las imágenes resultantes que representan los valores temáticos requeridos: brillo para la reflectividad y verdor para la vegetación. Una vez obtenidos los parámetros se aplicó el método de regresión lineal entre la temperatura superficial como variable dependiente y la cobertura vegetal y la reflectividad como variables independientes, utilizando el módulo Regress de Idrisi.

Distritos de emisión

El mapa de emisiones de material particulado por zonas se generó utilizando como base la información del estudio <<Actualización del inventario de Emisiones Atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas>>, elaborado por el Dictuc en 2009. Se utiliza esta fuente de información, por ser la más actualizada. El plan de descontaminación de Temuco y Padre Las Casas establece que al menos cada cinco años se actualizará un inventario de emisiones de los principales contaminantes atmosféricos. Sin embargo, hasta la fecha no hay una nueva actualización disponible, por lo que se utilizó esta fuente. Los datos de emisión por distrito se tabularon y se representaron en ArcGIS 10, generándose un mapa de graduación de color que representa los niveles de emisión por cada distrito censal.

Para relacionar la emisión por distritos con las temperaturas superficiales, se realizó un procedimiento de análisis espacial a través de la superposición de ambas capas temáticas. Para ello se llevó a cabo un proceso de re-escalamiento de la capa de temperatura superficial, mediante el cálculo del promedio de los valores de temperatura de los píxeles pertenecientes a cada distrito.

RESULTADOS

Clasificación Tipológica del Área Urbana Consolidada

El área urbana consolidada de la conurbación Temuco-Padre Las Casas alcanzó una superficie de 3780,44 hectáreas para el año 2013, sin considerar áreas de protección y áreas de restricción, ni zonas residenciales especiales de muy baja densidad que se encuentran fuera del área consolidada.

La información sobre tipologías de ocupación urbana para el año 2013 se sintetiza en la tabla 1 y se representa espacialmente en la Figura 2, en la que se observa el total de superficie ocupada por cada tipología para el año en estudio. A nivel de la intercomuna se observa como tipología predominante el tejido residencial continuo de mediana densidad con un 61,6%, que se distribuye en forma homogénea por toda el área de estudio. La siguiente tipología con mayor presencia es la de tejido residencial continuo denso, que ocupa un 15,8% de la superficie total. Esta se concentra en el sector central del área urbana tanto de Temuco como de Padre Las Casas. La tercera tipología con mayor presencia corresponde al tejido residencial discontinuo de baja densidad con un 8,8%, que se concentra exclusivamente en el límite poniente del área urbana de Temuco. Posteriormente se encuentran las áreas industriales y galpones que ocupan un 6,6% del área de estudio, y se sitúan en tres áreas bien definidas. Estas corresponden a los sectores surponiente y nororiente del área urbana de Temuco, y al sector poniente del área urbana de Padre Las Casas. Por su parte, la tipología de espacios abiertos ocupa un 5,5% del área total, presentando un patrón de distribución espacial bastante diferenciado entre ambas comunas. En el caso de Temuco, estos espacios se distribuyen en forma de parches aislados, concentrándose fundamentalmente en el sector sur poniente. En tanto en Padre Las Casas, la tipología de espacio abierto se presenta como un continuo que separa el núcleo central de urbanizaciones más recientes que se han establecido en el sector sur.

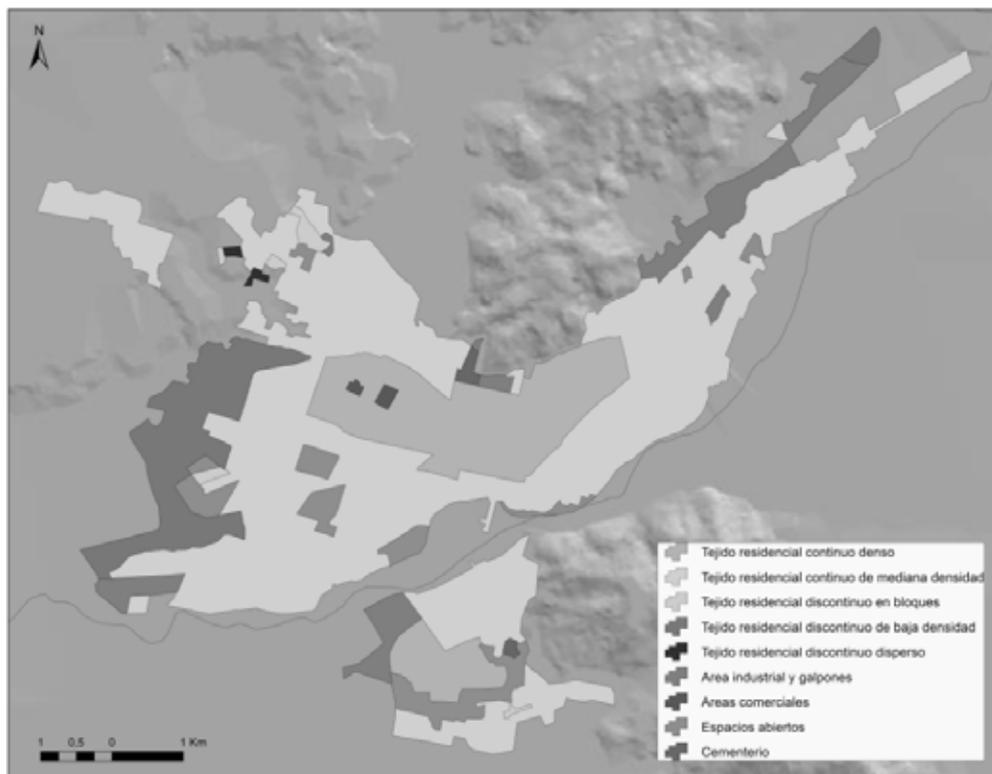
Se encuentran el resto de las tipologías identificadas con una superficie ocupada bastante menor. El tejido residencial discontinuo en bloques ocupa un 0,8% de la superficie y se concentra mayoritariamente en el sector norponiente del área urbana de Temuco, teniendo una representación menor en Padre Las Casas. Posteriormente se encuentra la tipología cementerio que corresponde al 0,4% del área, que está representada por el respectivo cementerio de cada comuna. Finalmente, con un 0,3% se encuentra la tipología de áreas comerciales, que se localizan en el sector central del área urbana de Temuco, y con un 0,2% se encuentra el tejido residencial discontinuo disperso que se localiza en la zona norponiente del área urbana de Temuco. Cabe destacar que la suma total de usos residenciales para el área de estudio alcanza más de 87% del total, quedando escasamente representadas las tipologías comerciales e industriales, lo que evidencia la fuerte vocación residencial de la conurbación.

Tabla 1. Clasificación tipológica del área urbana consolidada

| Tipología | Descripción | Imagen Representativa | Superficie (Ha) |
|--|---|--|-----------------|
| 1. Tejido residencial continuo denso | Caracterizado por una alta ocupación, conformado por una mezcla de edificación con predominio de edificaciones colectivas y adosadas y estructura de calles regular. El porcentaje de suelo estimado es sobre el 80%. |  | 598,77 |
| 2. Tejido residencial continuo de mediana densidad | Caracterizado por una ocupación media-alta, compuesto principalmente por viviendas individuales adosadas, con una estructura de calles regular y baja vegetación. El porcentaje de suelo artificial estimado es sobre el 80%. |  | 2327,05 |
| 3. Tejido residencial discontinuo en bloques | Compuesto por edificaciones colectivas aisladas, de grandes dimensiones. Puede presentar ocupación por vegetación. El porcentaje de suelo artificial es entre el 50% y el 80%. |  | 30,00 |
| 4. Tejido residencial discontinuo de baja densidad | Compuesto por edificaciones individuales, una estructura de calles más irregular, y generalmente algún grado de vegetación. El porcentaje de suelo artificial es entre el 50% y el 80%. |  | 332,08 |
| 5. Tejido residencial discontinuo disperso | Compuesto por edificaciones individuales aisladas, débil estructura de calles, y generalmente mayor presencia de vegetación. El porcentaje de suelo artificial estimado es entre el 15% y el 50%. |  | 8,03 |
| 6. Áreas industriales y galpones | Formado por grandes edificaciones de formas simples y seriadas y presencia de zonas de acopio y transporte. |  | 248,26 |
| 7. Áreas comerciales | Formada por grandes edificaciones o conjuntos de edificios y zonas de servicio, como estacionamientos, parques y otros. |  | 9,83 |
| 8. Espacios abiertos | Superficies con bajo porcentaje construido. Parques urbanos, universidades, colegios. |  | 211,25 |
| 9. Cementerios | Terrenos destinados a la inhumación. |  | 15,17 |

Fuente: elaboración propia a partir de Salinas y Pérez (2011).

Figura 2. Clasificación tipológica del área urbana consolidada de Temuco y Padre Las Casas



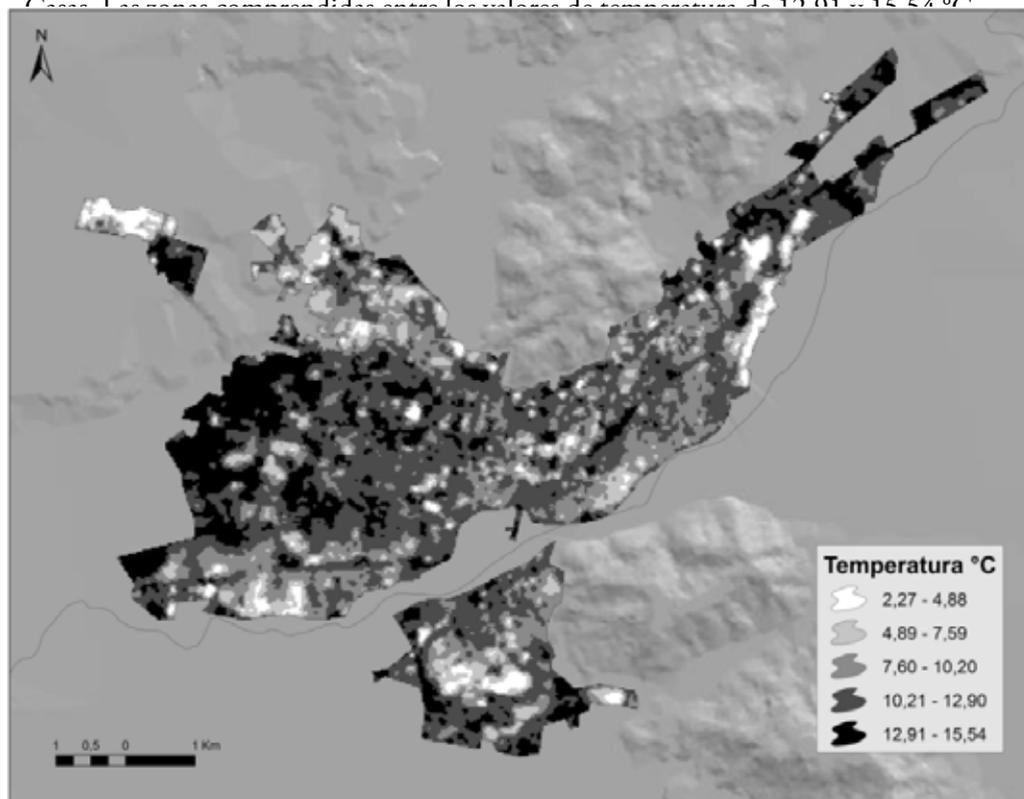
Elaboración propia sobre la base de fotointerpretación sobre Imagen GeoEye y datos Aster Gdem, 2013.

Patrón de distribución de las temperaturas superficiales

El mapa de temperaturas superficiales (figura 3) permite apreciar el patrón que sigue la distribución de la variable sobre el área de estudio. Se observa una alta autocorrelación entre los datos, lo que espacialmente se evidencia por agrupamientos de los valores de temperatura que establecen unidades territoriales claramente diferenciables. Esto se corrobora con el análisis del I de Morán, ya que arroja un valor de 0,95, indicando una elevada concentración de los datos.

La distribución de la temperatura de emisión superficial al interior de la conurbación (tabla 1) indica que predominan las zonas con valores comprendidos entre los 10,21 y 12,90 °C con un 44% de la superficie, localizándose en el sector central del área urbana de Temuco y en la periferia del área urbana de Padre Las Casas. Con un 24% siguen las áreas con valores comprendidos entre los 7,60 y 10,20 °C que se presentan en casi toda la periferia de área urbana de Temuco, y en la zona central del área urbana de Padre Las

Casas. Las zonas con mayores temperaturas se encuentran entre los valores de temperatura de 12,91 a 15,54 °C



Elaboración propia sobre la base de la banda 6L de imagen satelital Landsat ETM y datos Aster Gdem, 2013.

Los resultados del análisis de la relación estadística entre las temperaturas superficiales y los parámetros explicativos se muestran en la tabla 2. Se aprecia un débil coeficiente de regresión negativo de $-0,004$ entre temperatura superficial y cobertura de vegetación, con un coeficiente de correlación de $-0,013$ que indica una muy baja asociatividad entre ambas variables. Para el parámetro reflectividad, el coeficiente de regresión es de $-0,087$ y el coeficiente de correlación es de $-0,496$ denotando este parámetro una mayor asociatividad con la temperatura superficial del área de estudio.

Mediante el análisis de superposición se aprecia que en el caso de Temuco las temperaturas más altas se concentran mayoritariamente en zonas correspondientes a tejido residencial discontinuo de baja densidad, y en menor medida a zonas correspondiente a áreas industriales y galpones. En el caso de Padre las Casas las mayores temperaturas se encuentran en las zonas con tejido industrial y galpones, tejido residencial discontinuo de mediana densidad y espacios abiertos. Por otra parte, las menores temperaturas en Temuco se encuentran en zonas con tejido residencial continuo de mediana densidad, y en Padre Las Casas en zonas con tejido residencial continuo denso.

Tabla 2. Resultado de la bondad del ajuste de funciones lineales estimadoras de la temperatura superficial

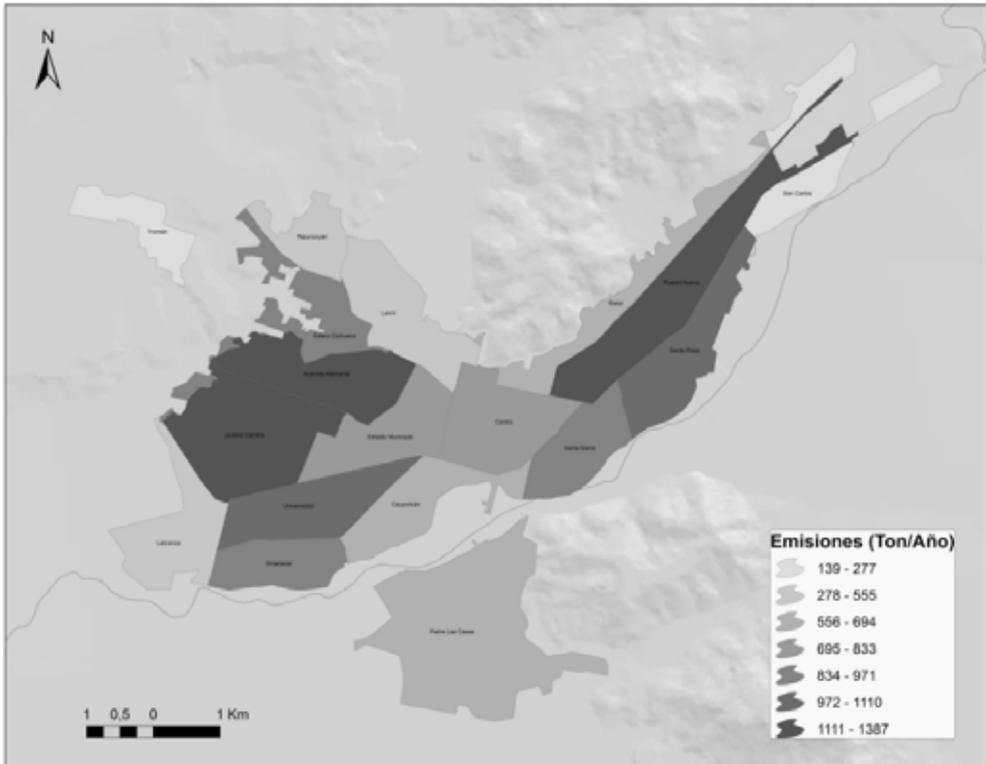
| Variable dependiente | Variable independiente | Ecuación de regresión | Coefficiente de correlación (r) | Número de píxeles | Error estándar |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|----------------|
| Temperatura superficial | Cobertura de vegetación | $Y = 138,22 - 0,004x$ | -0,013 | 15590 | 0,00274 |
| Temperatura superficial | Reflectividad superficial | $Y = 148,87 - 0,087x$ | -0,496 | 15590 | 0,00142 |

Relación entre la emisión de material particulado y las temperaturas superficiales

La figura 5 muestra las emisiones de material particulado PM10 para cada uno de los distritos censales del área urbana consolidada de la intercomuna. Espacialmente se distinguen dos áreas que concentran la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera. La primera está en el sector poniente de Temuco, compuesta por los distritos de Javiera Carrera, Av. Alemania y Universidad con un total de 744,89 ha, los tres distritos con emisiones por sobre las 1000 ton/año. Las temperaturas superficiales presentes en estos distritos muestran que un 45,6% corresponde al rango comprendido entre 10, 21 y 12,90 °C y un 34,3% corresponde al rango comprendido entre 12, 91 y 15, 54 °C. Esto indica que la mayor parte de esta zona con altas emisiones de material particulado presenta además elevadas temperaturas de emisión superficial en el periodo de invierno. Esta condición permite hipotetizar que sobre esta zona se puede estar produciendo una mayor concentración del material particulado que en el resto de la ciudad, debido a que las mayores temperaturas que este sector presenta con respecto al resto del área urbana consolidada podría estar produciendo un flujo de aire convergente hacia este sector. Esto contribuiría a dificultar la dispersión de los contaminantes, favoreciendo su concentración sobre esta zona.

El segundo sector con altas emisiones corresponde al que se compone por los distritos de Pueblo Nuevo y Santa Rosa, con un total de 526,67 ha, ambos también con emisiones por sobre los 1000 ton/año. En el caso de esta área hay menor presencia de altas temperaturas de emisión, puesto que los rangos más altos comprendidos entre 12, 91 y 15, 54 °C y entre 10, 21 y 12, 90 °C representan un 7% y un 21% respectivamente. En contrapartida, las áreas comprendidas entre los dos rangos de menor temperatura superficial (2, 27 y 4, 88 °C y 4, 89 y 7, 59 °C) corresponden a un 24% del área. A diferencia del área anteriormente descrita, en este sector es probable que, dadas sus menores temperaturas, exista una mejor dispersión de los contaminantes.

Figura 5. Emisión de material particulado PM10 por distrito censal



Elaboración propia sobre la base de actualización del inventario de emisiones atmosféricas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas (Dictuc, 2009).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las temperaturas superficiales del área urbana consolidada de Temuco y Padre Las Casas, captadas por el sensor remoto, se presentan con marcados contrastes en cuanto a su distribución espacial, evidenciando una alta heterogeneidad y un importante desarrollo de zonas con mayores temperaturas en sectores específicos.

Según el análisis de los factores relevados, el más relevante para explicar el patrón que siguen las temperaturas superficiales —dada la escala en la cual se trabajó—, es la reflectividad de las superficies, no así la morfología de los tejidos o la compacidad de estos.

En este sentido, el color de los techos de las construcciones induce marcados contrastes en la distribución de las temperaturas de emisión del área de estudio. Sectores con techos de colores más claros con un alto albedo coincidentemente son los que

presentan las menores temperaturas. Eso ratifica lo planteado por Zinzi y Fasano (2009) respecto a que el albedo urbano influye notablemente en la reflectividad y la absorción de energía solar por parte de las cubiertas terrestres. En Padre Las Casas estas zonas están asociadas al tejido residencial continuo denso que se establece en el centro del área urbana. Esto explica que en general la zona central del área urbana de Padre Las Casas tenga menores temperaturas superficiales que la periferia urbana.

En el caso de las temperaturas más altas, en Temuco, estas coinciden con el tejido residencial discontinuo de baja densidad, dado que la materialidad de estas viviendas, especialmente sus techos, están contruidos con materiales de muy bajo albedo que retienen el calor y contribuyen a aumentar la temperatura superficial. Lo mismo ocurre con las zonas industriales, puesto que presentan altas tasas de impermeabilización con materiales de bajo albedo. En Padre Las Casas, las mayores temperaturas se presentan en zonas con tejido residencial continuo de mediana densidad, tipología que en esta comuna presenta techos con valores de albedo más bajos. Esta situación es coincidente con lo planteado por Alarcón en 2009.

Por su parte, el factor vegetación no se presenta como un elemento relevante que condicione la distribución de las temperaturas superficiales dentro del área de estudio -siempre considerando que este parámetro ha sido tomado solo con referencia a la reflectividad-, así como tampoco la morfología o compacidad de los tejidos. Esto podría deberse a que existen diferencias poco significativas en cuanto a la distribución de la vegetación al interior del área urbana consolidada, a la escala en la cual se realizó el análisis. Esta relación debería profundizarse en estudios posteriores. No obstante, si se analiza más en detalle, hay zonas específicas que poseen importante cantidad de vegetación y que sí muestran temperaturas más bajas que áreas circundantes con mayores niveles de impermeabilización. Sin embargo, en el análisis realizado las temperaturas más bajas se relacionan más con altos albedos de las superficies que con la presencia de vegetación.

Una referencia particular merece el caso de la tipología de espacios abiertos, que se presenta en la mayoría de los casos con altas temperaturas superficiales y solo en algunos casos presentan temperaturas menores que las zonas impermeabilizadas. La diferencia radica en el grado de cobertura vegetal efectiva que tengan estas áreas. Mientras mayor vegetación posean, menor es su temperatura superficial. En el caso particular del área urbana consolidada, muchos de estos espacios abiertos presentan un importante porcentaje de cobertura de suelos desnudos escasamente vegetados. Estos presentan un comportamiento térmico que tiende al calentamiento de la superficie, situación que ratifica lo esbozado por Peña (2009). Él plantea que las islas de calor también pueden originarse sobre superficies no urbanizadas y escasamente vegetadas, que al igual que los materiales de construcción urbanos pueden tener un comportamiento térmico favorable para su recalentamiento.

Con respecto a la relación existente entre la temperatura y las emisiones de material particulado, es de esperar que a medida que transcurre el día, las diferencias térmicas antes analizadas puedan enfatizarse por la diferencia en el albedo de los materiales presentes en la superficie, dado que la imagen satelital utilizada para el análisis fue captada por el sensor a las 14:43 hora local. Esto implicaría que a la hora de mayor contaminación, también se den las mayores diferencias térmicas, lo que podría acentuar la concentración de contaminantes en ciertos sectores específicos del área urbana. Oke (1997) plantea que la isla de calor genera una convergencia del aire superficial desde zonas de menor temperatura hacia zonas de mayor temperatura, lo que contribuye a dificultar la dispersión de los contaminantes. Eso favorece su concentración sobre las zonas más cálidas y originando la típica formación urbana denominada cúpula de contaminantes.

Cabe consignar que el inventario de emisiones utilizado para este análisis proporciona información referente a la cantidad de emisiones vertidas a la atmósfera en el área de estudio, identificando las fuentes emisoras y cuantificando sus respectivas emisiones. Sin embargo, no entrega información que permita saber en qué sectores se está concentrando la contaminación, es decir, la inmisión (Seoanez, 2002). Tras la emisión, mecanismos de transporte y de difusión —o a veces de acumulación— harán que la concentración de contaminantes disminuya o se concentre, y que esto ocurra a una distancia del foco emisor menor o mayor. Por eso, para determinar la calidad del aire en un punto concreto, no basta con conocer el nivel de emisión de una fuente contaminante; también debe conocer el nivel de inmisión, es decir, la cantidad de contaminante presente en el punto considerado en un periodo de tiempo determinado (Seoanez, 2002). En este sentido, si la emisión es alta, pero los dispositivos de dispersión funcionan adecuadamente (chimeneas bien diseñadas, dirección adecuada de los vientos dominantes, etc.), los niveles de inmisión en zonas incluso próximas a la emisión pueden ser bajos y aceptables. Con respecto a los factores que influyen en la dispersión se debe tener en cuenta las características de las emisiones, las condiciones atmosféricas y las características geográficas y topográficas del lugar estudiado (Seoanez, 2002). Tomando esto en consideración, es importante señalar que bajo la idea de emisión, particularmente la proveniente de fuentes fijas domiciliarias, la isla de calor del área urbana consolidada puede tener una arista positiva, ya que las zonas que se presentan con mayores temperaturas, en teoría, requerirán menor gasto energético para calefaccionarse. Eso podría contribuir a reducir el consumo de leña, reduciéndose así las emisiones de material particulado hacia la atmósfera. En ciudades con estacionalidad marcada, las condiciones comparadas de confort urbano-rural en la época invernal, se decantan claramente hacia una mayor sensación de bienestar en el medio urbano, por efecto de las islas de calor (Tornero, 2006).

A raíz de esto, es importante establecer que la estimación que se hace en este trabajo sobre la relación entre emisiones y temperatura superficial es una propuesta que busca complementar la información que se pueda obtener a partir de estaciones de monitoreo de calidad del aire. El objetivo es aproximarse a dar más luces sobre la variabilidad intraurbana de los niveles de contaminación de material particulado, la que muchas veces queda invisibilizada por la baja densidad de estaciones de monitoreo presentes al interior del área urbana, tal como plantean Romero et al. (2010). En este sentido, conocer la distribución de las temperaturas intraurbanas y relacionarlas con la información sobre los niveles de emisión en zonas más pequeñas que el área urbana -en este caso distritos-, puede ayudar a prever cuáles serán los sectores con mayor probabilidad de concentrar la contaminación. A su vez, eso contribuirá a ampliar el conocimiento en esta materia, ante la imposibilidad económica de instalar estaciones de monitoreo en cada distrito.

Para contribuir a mejorar el problema de la contaminación atmosférica se debe actuar desde diversos enfoques y uno de ellos es el de la planificación urbana, puesto que el problema de la contaminación atmosférica en las ciudades está fuertemente asociado a la componente territorial por el crecimiento espacial no-controlado de las superficies urbanas. La forma en la que se estructura la ciudad, la densidad constructiva, los materiales que se utilicen, la cantidad de vegetación presente son, entre otros, elementos que se deben manejar desde un enfoque de planificación urbana ambientalmente sustentable para orientar el desarrollo de los centros urbanos hacia la mejora de su calidad ambiental, y contribuir así a mejorar la calidad de vida de la población que habita en estos espacios. Esto supone una política urbana moderna, con sentido del territorio, que fortalezca la legislación e incorpore las variables ambientales en los instrumentos de planificación territorial (Barton, 2006).

Para responder a esto, la planificación urbana debería orientar sus esfuerzos hacia la generación de espacios sustentables para habitar, ampliando el concepto de habitabilidad tradicional que hasta ahora en la normativa chilena está restringido a normar aspectos propios de la edificación de las viviendas. Esta situación ha estado guiada, como plantea Caquimbo (2008), por el vertiginoso y desordenado crecimiento de las ciudades, la urgencia de soluciones y la escasez de recursos, lo que se tradujo en la concentración de esfuerzos en la producción de viviendas como objetos habitables, antes que en la construcción de espacios para habitar.

La planificación debería, a través de sus instrumentos, garantizar un estándar mínimo de confort ambiental al que puedan acceder todos los habitantes de la ciudad. Sin embargo, para poder tomar medidas que apunten a la mejora de las condiciones ambientales de las ciudades, es necesario conocer muy bien los procesos y las dinámicas que ocurren al interior de ellas. Si no se cuenta con este conocimiento será imposible tomar las medidas adecuadas que permitan revertir las tendencias que arrastran a las

ciudades hacia la no-sustentabilidad ambiental. Es evidente que esto implica complementar los métodos de evaluación del desarrollo urbano tradicionales con nuevos métodos que brinden una perspectiva sobre aspectos de la sustentabilidad (Barton, 2006), y a partir de estas evaluaciones se deberían establecer los principios que orienten los procesos de planificación.

Como plantea Gómez (2008), cualquier proceso de ordenamiento territorial — independientemente del enfoque que tenga— debería incluir tres grandes fases: el análisis territorial, la planificación territorial y la gestión territorial. Por lo tanto, no es posible pretender tener una planificación y una gestión territorial adecuada si primero no se hace un análisis pertinente, que permita obtener el conocimiento necesario para orientar adecuadamente las intervenciones sobre el territorio, con el fin de revertir las tendencias negativas y potenciar las positivas.

Si bien el análisis realizado en este trabajo se llevó a cabo en el periodo de invierno —puesto que se buscó relacionar la temperatura superficial del área urbana con las emisiones de material particulado—, es esperable que las diferencias térmicas superficiales encontradas puedan intensificarse en el periodo estival. Por lo tanto, las medidas que se tomen desde la planificación para reducir las islas de calor y evitar así la concentración de material particulado en invierno, también ayudarán a mitigar y reducir impactos potenciales del cambio climático en la ciudad, reduciendo por ejemplo, el discomfort térmico en los meses de verano.

REFERENCIAS

- Alarcón, A. (2009). *Análisis de la relación entre morfología y microclima urbanos y el material particulado en las comunas de Santiago centro y las Condes*. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile, Santiago.
- Ángel, L., Ramírez, A. y Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, 34(131), 173-183.
- Arnfield, J. (2003). Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, (23), 1-26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Azócar, G., Sanhueza, R. y Henríquez, C. (2003). Análisis del cambio en los patrones de crecimiento urbano en una ciudad intermedia de Chile central: un caso de estudio en Chillán. *Eure*, 29(87), 79-92. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612003008700006>
- Barton, J. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, (43), 5-30. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000200001>

- Barton, J. (2006) Sustentabilidad urbana como planificación estratégica. *Eure*, 32(96), 27-45. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612006000200003>
- Capelli de Steffens, A., Piccolo, A., Hernández, J. y Navarrete, G. (2001). La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía*, 33, 49-60.
- Caquimbo, S. (2008). La calidad del espacio público en la construcción del paisaje urbano. En busca de un hábitat equitativo. *Revista Invi*, 23(62), 75-97.
- Carreras, C., Marin, M., Martin, J., Moreno, M. y Sabí, J. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents D'analisi Geografica*, 17, 51-77.
- Conama (2005). Antecedentes para la declaración de las comunas de Temuco y Padre Las Casas como zona saturada por material particulado respirable MP10.
- Córdova, K. (2011). Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 52(2), 31-46.
- de Schiller, S. (2000). Sustainable cities: contribution of urban morphology. En K. Steemers y S. Yannas (Eds.), *Proceedings of PLEA-2000, Passive & Low Energy Architecture, Cambridge* (pp. 353-358). Londres: James & James.
- DICTUC S.A. (2009). Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles para el año 2005 de las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Santiago, Chile.
- Eastman, R. (2003). *Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, England: Clark University.
- Fariña, J. (2001). *Naturaleza urbana*. Madrid, España: Instituto Juan de Herrera.
- Fernández, F. y Moreno, A. (2004). Confort climático y nivel de renta en la Comunidad de Madrid: un estudio exploratorio de su relación espacial. En *Historia, clima y paisaje. Estudios geográficos en memoria del profesor Antonio López Gómez* (pp. 305-321). Valencia: Universitat de Valencia, Universidad Autónoma de Madrid y Universitat de Alicante.
- Figuerola, A. (2013). *Análisis y Conclusiones Resultados Preliminares Censo 2012*. Santiago de Chile: Gerencia de Estudios Coordinación Territorial, Cámara Chilena de la Construcción.
- Gartland. (2009). *Heat Islands. Understanding and mitigating heat in urban areas*. Londres, Inglaterra: Earthscan Publications.
- Gómez, D. (2008). *Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Haber, W. (1999). Zur theoretischen Fundierung der Umweltplanung unter dem Leitbild einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. En P. Weiland, *Festschrift für Karl-Hermann Hübler* (pp. 63-80). Berlín, Alemania: VWF.

- Henríquez, C., Azócar, G. y Sanhueza, R. (2002). Determinación de la Isla de Calor en la Ciudad de Chillán y Chillán Viejo. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 47, 65- 73.
- Huang, Ch., Wylie, B., Yang, L., Homer, C. y Zylstra, G. (2001). Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 at – Satellite Reflectance. Sioux Falls, Estados Unidos: U.S. Geological Survey EROS Data Center.
- Jáuregui, E. (2005). Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmósfera*, (18), 247-252.
- Lowry, W. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, (16), 129-135. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1977\)016<0129:EEOUEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1977)016<0129:EEOUEO>2.0.CO;2)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Minvu (2005). *Ley General de Urbanismo y Construcciones. Actualización 2005*. Santiago, Chile: Editorial Jurídica Cono Sur.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Minvu (2007). *Análisis de tendencias de localización, Etapa I: Sistema Urbano Temuco – Padre Las Casas*. Santiago, Chile: Sur Plan Ltda.
- Oke, T. (1987). *Boundary layer climates*. Londres, Inglaterra: Mathuen & Co. Ltd. Press.
- Oke, T. (1997). Urban climates and global change. En A. Perry y R. Thompson, *Applied Climatology: Principles and Practices* (pp. 273-287). Londres, Inglaterra: Routledge.
- Oke, T. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19(11), 2085-2104 <https://doi.org/10.1080/014311698214884>
- Opazo, D. (2010). *Distribución espacial de la contaminación por material particulado y su relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009*. Memoria para optar al título profesional de geógrafo. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Geografía. Santiago, Chile.
- Ostro, B., Valdés, S. y Sánchez, J. (1998). Los efectos en la salud de la contaminación atmosférica. *Estudios Públicos*, 69, 125-154.
- Pauleit, S., Ennos, R. y Golding, Y. (2005). Modeling the Environmental Impacts of Urban Land Use and Land Cover Change: a Study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4), 295-310. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(04\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(04)00083-0)
- Peña, M. (2006). *Análisis de las temperaturas superficiales asociadas a islas de calor de superficie en la ciudad de Santiago y su entorno rural*. Tesis de M.C. Universidad de Chile, Santiago.
- Peña, M. (2008). Relationships between remotely sensed surface parameters associated with the urban heat sink formation in Santiago, Chile. *International Journal of Remote Sensing*, 29(15), 4385-4404. <https://doi.org/10.1080/01431160801908137>
- Romero, H., Toledo, X., Ordenes, F. y Vásquez, A. (2001). Ecología urbana y gestión sustentable de las ciudades intermedias chilenas. *Ambiente y Desarrollo*, XVII(4), 45-51.

- Romero, H. y Molina, M. (2007). Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 1(1), 223-230.
- Romero, H., Salgado, M. y Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 25(70), 151-179. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582010000300005>
- Salinas, E. y Pérez, L. (2011). Procesos urbanos recientes en el Área Metropolitana de Concepción: transformaciones morfológicas y tipologías de ocupación. *Revista de geografía Norte Grande*, (49), 79-97. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000200006>
- Sanhueza, P., Vargas, C. y Mellado, P. (2006). Impacto de la contaminación del aire por PM10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Revista Médica de Chile*, 134(6), 754-761. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872006000600012>
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. y Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, (8), 71-84.
- Seoanez, M. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión*. Editorial Mundi-Prensa Libros S.A.
- Stone, B. y Rodgers, M. (2001). Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island. *Journal of the American Planning Association*, 67(2), 186-198. <https://doi.org/10.1080/01944360108976228>
- Tornero, J., Perez, A. y Gómez, F. (2006). Ciudad y Confort Ambiental: Estado de la Cuestión y Aportaciones Recientes. *Cuaderno de Geografía*, (80), 147-182
- Voogt, J. y Oke, T. (2003). Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, (86), 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Withford, W., Ennos, A. y Handley, J. (2001). City form and natural process: Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, (57), 91-103. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00192-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00192-X)
- Zinzi, M. y Fasano, G. (2009). Properties and performance of advanced reflective paints to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas. *International Journal of Sustainable Energy*, 28(1), 123-139. <https://doi.org/10.1080/14786450802453314>