

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

Analysis of the Relationship between Surface Temperatures and Urban Fabrics as an input for urban planning. The case of Temuco-Padre Las Casas

Juan Pablo Frick Raggi

Aaron Napadensky Pastene | [anapaden@ubiobio.cl](mailto:anapaden@ubiobio.cl)

**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, los parámetros de cobertura vegetal y reflectividad y la distribución de material particulado. Se utilizó imagen 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 como esto podría condicionar la distribución de material particulado al interior del área urbana.

**PALABRAS CLAVE:** Isla de calor urbana – Tipologías urbanas – Planificación urbana.

**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 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, occurring 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.*

**KEY WORDS:** *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 productora en gran medida de sus propias condiciones medioambientales (Carreras, Marin, Vide, 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 superficies, la distorsión del ciclo hídrico, un excesivo consumo de materiales, de agua y de energía y, con ello, una alta emisión de contaminantes atmosféricos (Salinas y Pérez, 2011). Una de las características más relevantes de los procesos de urbanización, lo constituye la diferencia de temperatura que se produce entre la ciudad y su entorno rural inmediato, fenómeno conocido como isla de calor (Azócar et al, 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 y 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, producto de un núcleo cálido que se origina tanto por las emisiones de la ciudad, como también por los materiales que la componen como consecuencia de la impermeabilización y urbanización de los suelos (Capelli, Píccolo, Hernández, & 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, 2009). 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 también 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, 2009), 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, & Domínguez (2010), analizando datos de estaciones meteorológicas, 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. En Caracas, mediante la utilización de Imágenes Satelitales, Córdova (2010) 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, en donde de Schiller, Martin y Katschner (2001) evaluaron la presencia de islas de calor en dos ciudades Argentinas. Primero en 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 & Sanhueza, R., 2002); Romero, et al., 2010). Sarricolea, Aliste, Castro, & 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 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 que 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 (Taulé, 2010), 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 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, y 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, 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, siendo algunas de ellas contaminantes, pudiendo llegar a producir episodios que alteren la calidad de vida de sus habitantes (Capelli 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, a la que regularmente está expuesta la población, y cuyas concentraciones han sido correlacionadas con la ocurrencia de enfermedades y muertes, causadas especialmente por problemas respiratorios y cardiovasculares (Ostro et al, 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, dado 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, favoreciendo su concentración sobre las zonas más cálidas y originando la típica formación urbana denominada cúpula de contaminantes, que se ve incrementada por situaciones anticiclónicas y que sólo 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, 2005; Whitford, 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 (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, et al 2007). Esto se ha reflejado en complejos patrones de ocupación del suelo que se expresan en un mosaico de diversas tipologías de ocupación (Salinas et al, 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, momento en el cual 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 et al. 2001). En este escenario, el rol urbano de la ciudad ha ido gradualmente absorbiendo las otras funciones del territorio comunal, tendiendo a disminuir la población rural y propiciando la especialización del territorio en actividades relacionadas a los servicios y comercio, aumentando a su vez la población y superficie urbana (MINVU, 2006). 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, siendo las principales fuentes de contaminación las estufas y cocinas a leña (Sanhueza et al. 2005)

En el mes de marzo del año 2005, estas comunas fueron declaradas zonas saturadas por 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 (CONAMA, 2005).

Sin embargo, la problemática de la contaminación atmosférica no ha sido abordada desde la óptica de la planificación urbana, la que debiera 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, buscando a través de la planificación del crecimiento urbano, por ejemplo, contribuir a reducir la concentración de contaminantes en el área urbana.

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 paralelismos entre esto y las tipologías de ocupación del suelo, para luego identificar los parámetros que podrían explicar dicho paralelismo, tales como, la morfología del tejido urbano, la compacidad de este, su cobertura vegetal o reflectividad. Finalmente, el trabajo discute como 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, pudiendo 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

Este estudio se llevó a cabo en el área urbana consolidada de la conurbación Temuco - Padre Las Casas para el año 2013 (Figura 1). Ésta 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 Stefens, Piccolo, Varela, Hernández, González, Navarrete, y Lara, 1997).

En cuanto a la población, el área urbana de Temuco – Padre las Casas, ha mantenido entre periodos inter censales una variación porcentual sobre la media nacional de 2,87%, y particularmente el sector de Padre las Casas que debido al fuerte crecimiento experimentado en los último 20 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 mostro una tendencia diferente, destacando la comuna de Padre las Casas registró 3,03% aumentando en 41,66% el número total de viviendas para el periodo 2002- 2012 (Figueroa, 2013).

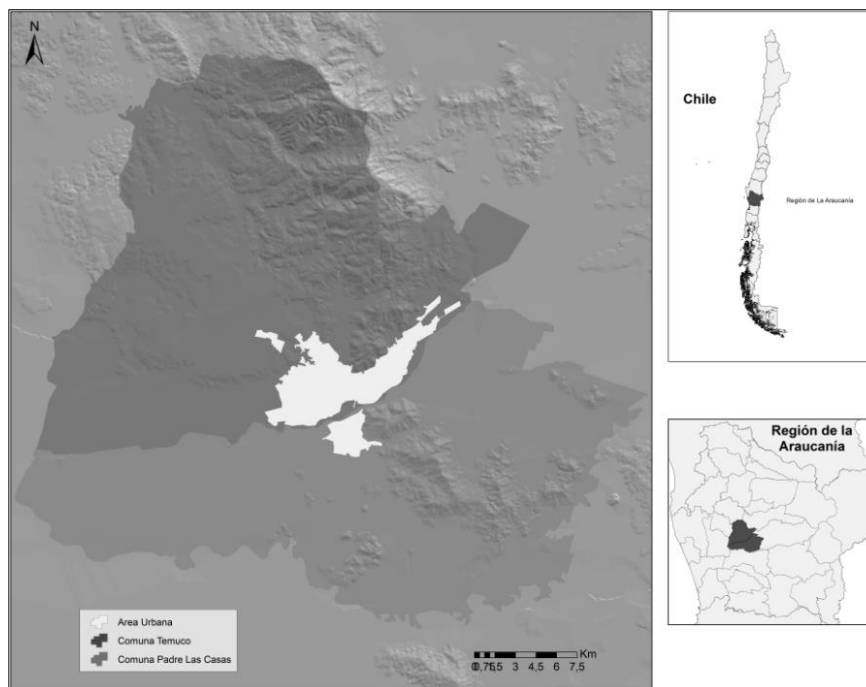


Figura 1: Área de estudio. Elaboración propia

## 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 para 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 et al. (2011) adaptada del proyecto *Corine Land Cover*, puesto que esta categorización se centra específicamente en las superficies artificiales o construidas. A las tipologías originales se incorporaron dos más 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 cómo éstas tienen su peak 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 del 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 en donde fue recortada para dejar la imagen de temperatura superficial sólo 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 et al. (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 ha 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 el Cuadro 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%, el 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, que se sitúan en tres áreas bien definidas, que 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.

Con una superficie ocupada bastante menor se encuentran el resto de las tipologías identificadas. 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, la 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.

Cuadro 1. Clasificación Tipológica del área urbana consolidada. Fuente, elaboración propia en base a Salinas et al (2011)

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. <del>Áreas</del> áreas industriales y galpones	Formado por grandes edificaciones de formas simples y seriadas y presencia de zonas de acopio y transporte.		248,26
7. <del>Áreas</del> 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

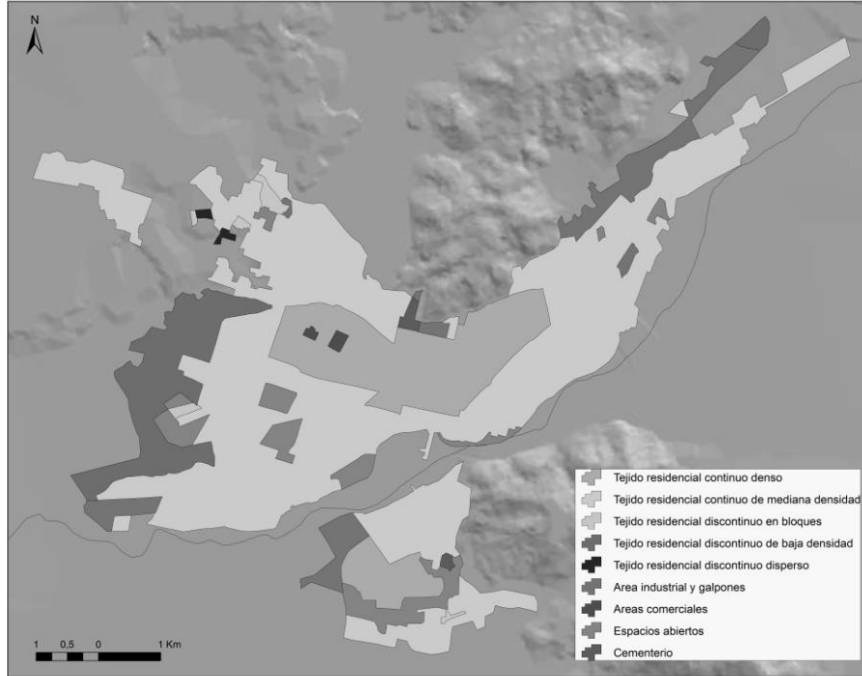


Figura 2. Clasificación Tipológica del área urbana consolidada de Temuco y Padre Las Casas. Elaboración propia en base a fotointerpretación sobre Imágen GeoEye y datos Aster Gdem, 2013.

## 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 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 (Gráfico 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 comprendidas entre los valores de temperatura de 12,91 y 15,54 °C, representan el 19%, y dado que son los valores más altos de la clasificación estas zonas corresponden a islas de calor urbanas. Estas áreas se distribuyen espacialmente en forma muy focalizada, concentrándose especialmente en el sector poniente de del área urbana de Temuco y en menor medida en el sector sur del área urbana de Padre Las Casa. A continuación se encuentran los sectores con temperaturas comprendidas entre 4,89 y 7,59 °C que representan un 10% del total de la superficie. Se distribuyen en forma dispersa por la periferia del área urbana de Temuco encontrándose espacialmente en la zona norte. En el caso de Padre Las Casas, se encuentran mayoritariamente en la zona central y en menor medida en el sector sur del área urbana. Por último, las zonas con temperaturas entre 2,27 y 4,88 °C representan el 3% de área y presentan un patrón de distribución similar a las áreas del rango anteriormente descrito, destacando su presencia muy focalizada en los sectores norponiente, surponiente y oriente de área urbana de Temuco, y en la zona central del área urbana de Padre Las Casas.

Gráfico 1. Porcentaje de área representada por cada rango de temperatura. Elaboración propia

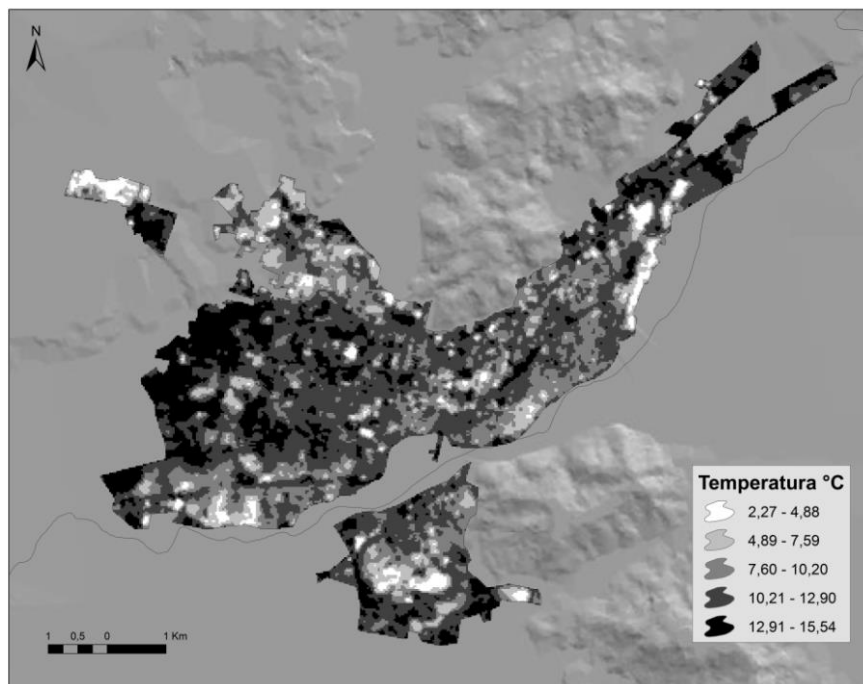
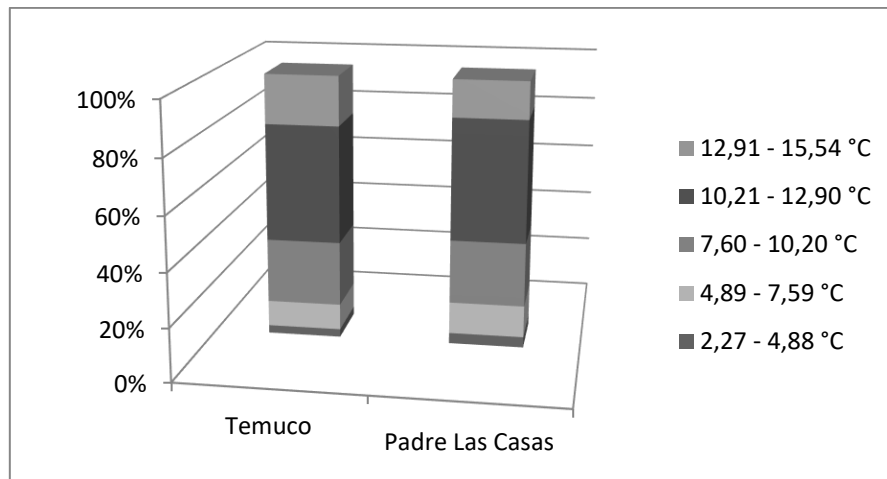


Figura 3. Temperatura Superficial del área urbana consolidada. Elaboración propia en base a la banda 6L de imagen satelital Landsat ETM y datos Aster Gdem, 2013.

Los resultados del análisis de la relación estadística entre las temperaturas superficiales y los parámetros explicativos se muestran en el Cuadro 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.

Cuadro 2. Resultado de la bondad del ajuste de funciones lineales estimadoras de la temperatura superficial. Elaboración propia.

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

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.

### Relación entre la emisión de material particulado y las temperaturas superficiales

La Figura 4 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 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 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, lo que contribuiría a dificultar la dispersión de los contaminantes, favoreciendo su concentración sobre esta zona.

El segundo sector con altas emisiones corresponde al formado 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 comprendido 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 de área anteriormente descrita, en este sector es probable que, dadas sus menores temperaturas, exista una mejor dispersión de los contaminantes.

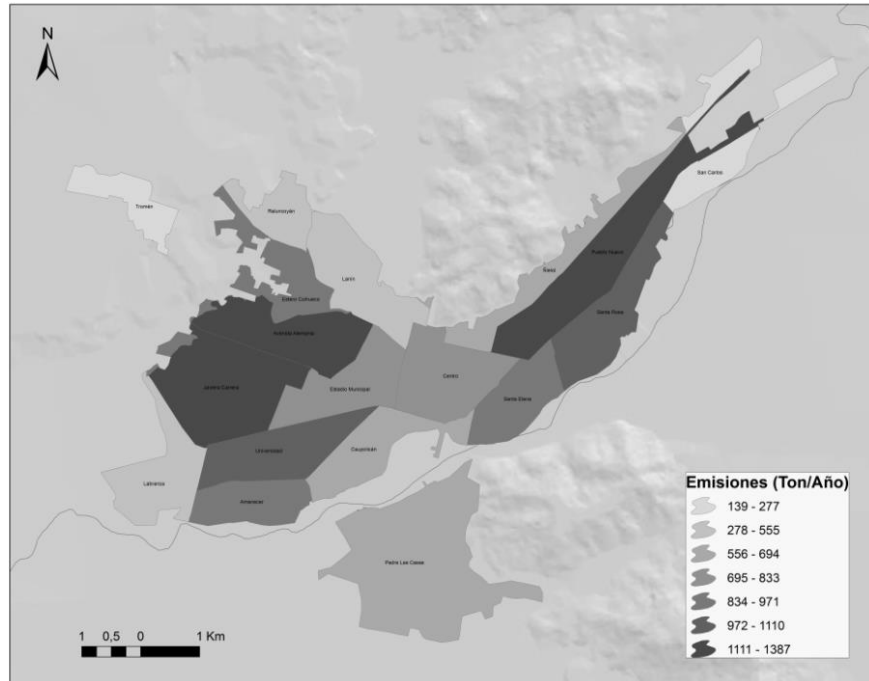


Figura 4. Emisión de material particulado PM10 por distrito censal. Elaboración propia en base a actualización del inventario de emisiones atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, Dictuc en 2009.

## 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, presentándose con 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 a 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, situación que ratifica lo planteado por Zinzi et al (2011) 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, éstas coinciden con el tejido residencial discontinuo de baja densidad, dado que la materialidad de estas viviendas, especialmente sus techos, están construidas 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, 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 a la cual se realizó el análisis relación sobre la que debiera 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 sólo 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 posee, 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, que presentan un comportamiento térmico que tiende al calentamiento de la superficie, situación que ratifica lo esbozado por Peña (2009) quién 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, dado que la imagen satelital utilizada para el análisis fue captada por el sensor a las 14:43 hora local, es de esperar que a medida que transcurra el día, las diferencias térmicas antes analizadas puedan enfatizarse, debido a la diferencia en el albedo de los materiales presentes en la superficie. 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, tal como plantea Oke (1997) al establecer 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, favoreciendo su concentración sobre las zonas más cálidas y originando la típica formación urbana denominada cúpula de contaminantes.

Cabe consignar, que el inventario de emisiones que fue 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 (Seonez, 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, sino que se debe conocer el nivel de inmisión, es decir, la cantidad de contaminante presente en el punto considerado en un periodo de tiempo determinado (Seonez, 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 (Seonez, 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, lo que podría contribuir a reducir el consumo de leña reduciéndose así las emisiones de material particulado hacia la atmósfera. Esto

debido a que en ciudades con estacionalidad marcada, las condiciones comparadas de confort urbano-rural, en la época invernal, se decantan claramente hacia un mayor confort en el medio urbano, por efecto de las islas de calor (Torneró, 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, lo que contribuirá a ampliar el conocimiento en esta materia, ante la imposibilidad económica de instalar estaciones de monitoreo en cada distrito.

En este sentido, 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, situación que 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 que los esfuerzos se han concentrado en la producción de viviendas como objetos habitables antes que en la construcción de espacios para habitar.

La planificación debiera, 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 insustentabilidad ambiental. Es evidente que esto implica complementar los métodos de evaluación del desarrollo urbano tradicionales con nuevos métodos que brindan una perspectiva sobre aspectos de la sustentabilidad (Barton, 2006), y a partir de estas evaluaciones debieran establecerse los principios que orienten los procesos de planificación.

Cómo plantea Gómez (2008) cualquier proceso de ordenamiento territorial, independientemente del enfoque que tenga debiera 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.

## Bibliografía

- 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.
- Ángel, L., Ramírez, A. & Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 34 (131): 173-183, 2010. ISSN 0370-3908.
- 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.
- Azócar, G., Sanhueza, R. & 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*, 2003, Vol. 29, N° 87, p. 79-92.
- Barton, J. (2006) Sustentabilidad urbana como planificación estratégica. *Eure*, vol. 32, N° 96, p. 27-45.
- Barton, J. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de geografía Norte Grande*, (43), 5-30. Recuperado en 26 de enero de 2014
- Capelli de Stefens, A., Piccolo, M.; varela, P.; Hernandez, J.; Gonzalez, H.; Navarrete, G; y Lara, R. (1997) La isla de calor en Temuco Chile: Situación invernal. *Revista Geofísica, IPGH, México*, 46, 5-16
- Capelli de Steffens, A.; Píccolo, M., Hernández, J & Navarrete, G. (2001). La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía*, Vol. 33, p. 49-60.
- Caquimbo, S. (2008). La calidad del espacio público en la construcción del paisaje urbano. En busca de un hábitat equitativo. *Revista Invi* N° 62, Volumen 23: 75-97
- Carreras, C., Marin, M., Martin, J., Moreno, M. & Sabí, J. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents D'anàlisi Geogràfica* 17,1990, pp. 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*, Vol. 52(2) 2011, 31-46.
- De Schiller, S. (2001). Forma Edilicia y Tejido Urbano: Evaluación de Sustentabilidad. Centro de Investigación Hábitat y Energía. Universidad de Buenos Aires.

- Eastman, R. (2003). Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs. Worcester. Clark University. p 328
- Fariña, J. (2001). Naturaleza urbana. Editor: Instituto Juan de Herrera. Madrid. España. ISSN: 1578-097X
- Fernández, F. & 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.
- Figueroa, A. (2013). Análisis y Conclusiones Resultados Preliminares Censo 2012. Gerencia de Estudios Coordinación Territorial. Cámara Chilena de la Construcción.
- Gartland. Heat Islands. Understanding and mitigating heat in urban areas. Londres: Editorial Earthscan Publications Ltd., 2009, 200 p.
- Gómez, D. (2008). Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Haber, W. (1999). Zur theoretischen Fundierung der Umweltplanung unter dem Leitbild einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. En Weiland. P. 63-80. Festschrift für Karl-Hermann Hübler. Berlín: VWF
- Henríquez, C., Azócar, G. & Sanhueza, R. (2002). Determinación de la Isla de Calor en la Ciudad de Chillán y Chillán Viejo. Revista Geográfica de Chile Terra Australis, 47, pp. 65- 73.
- Huang, Ch., Wylie, B., Yang, L., Homer, C. & Zylstra, G. (2001). Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 at – Satellite Reflectance. Sioux Falls. U.S. Geological Survey. EROS Data Center. 10 p.
- 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*, Volumen 16: 129-135.
- MINVU (2005). Ley General de Urbanismo y Construcciones. Actualización 2005. Santiago, Editorial Jurídica Cono Sur.
- MINVU (2006). Plan Regulador Intercomunal Araucanía Centro. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Oke, T. (1987). Boundary layer climates. Mathuen & Co. Ltd. Press, London. 372 pp.
- Oke, T. (1997). Urban climates and global change. In Perry A and Thompson R (Eds) *Applied Climatology: Principles and Practices*, pp. 273–287. London: Routledge.
- Oke, T. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, N°. 11, 2085 - 2104
- Opazo, D. (2010). Espacial de la contaminación por material particulado y su relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009.

- Ostro, B., Valdés, S. & Sánchez, J. (1998). Los efectos en la salud de la contaminación atmosférica. *Revista Estudios Públicos*. N°69. 125-154.
- Pauleit, S., Ennos, Y. & Golding, R. (2005). Modeling the Environmental Impacts of Urban Land Use and Land Cover Change: a Study in Merseyside, UK. Elsevier, *Landscape and Urban Planning* N° 71, 295- 310.
- 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.
- Peña, M. (2009). Examination of the Land Surface Temperature Response for Santiago, Chile. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.
- Romero, H. & 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*: 223-230. Santiago.
- Romero, H., Irrarrazaval, F., Opazo, D., Salgado, M. & Smith, P. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109), 35-62.
- Romero, H., Salgado, M. & 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, 151-179.
- Romero, H., Toledo, X., Ordenes, F. & Vásquez, A. (2001). Ecología urbana y gestión sustentable de las ciudades intermedias chilenas. *Ambiente y Desarrollo*, CIPMA.
- Salinas, E. & Pérez, L. (2011). Procesos urbanos recientes en el Área Metropolitana de Concepción: transformaciones morfológicas y tipologías de ocupación. *Rev. Geogr. Norte Gd.* [online]. 2011, n.49 [citado 2013-11-28], pp. 79-97.
- Sanhueza, P., Vargas, C. & Mellado, P. (2005). Impact of air pollution by fine particulate matter (PM10) on daily mortality in Temuco, Chile. *Revista Médica De Chile* 134, 754–761.
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., & Escobedo, C., (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbano nocturno de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología* (8), 71-84. ISSN: 1578-8768
- Seoanez, M. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión*. Ed. Mundi Prensa Libros S.A., Primera Edición.
- Schiller, S.; Martin, J.; Katzschner, L. (2001) Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño, estudios en Buenos Aires y Río Gallegos. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 5, pp. 45-50
- Stone, B. & 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.
- Taulé, G. (2010). El efecto urbano en las temperaturas de Girona. *Clima, ciudad y ecosistemas*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A, 7, 557-564.

- Tornero, J., Pérez, A. & Gómez, F. (2006). Ciudad y Confort Ambiental: Estado de la Cuestión y Aportaciones Recientes. Cuad. de Geogr. 80 ,147 - 182
- Voogt, J. & Oke, T. (2003). Thermal Remote Sensing of Urban Climates. Remote Sensing of Environment. 86: 370 – 384.
- Withford, W., Ennos, A. & Handley, J. (2001). City form and natural process: Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. Elsevier, Landscape and Urban Planning N° 57 pág. 91-103.
- Zinzi, M. & ScAgnoli, S. (2011). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. Energy and Buildings.