

Relaciones entre zonas termales urbanas y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile: consideraciones ante cambios climáticos

RESUMEN

Los cambios climáticos que se registran en las ciudades asocian los efectos del calentamiento global con la formación de islas de calor, causadas por la urbanización y que se relacionan directamente con la composición socioeconómica de los diversos barrios que las componen, que en el caso de Chile, se manifiestan como mosaicos de paisajes diferentes o barrios, que representan profundas desigualdades sociales. Los barrios presentan diferentes zonas climáticas termales, que son el producto de sus variados usos y coberturas de suelos, densidades y diseños de las viviendas y coberturas vegetales. Las áreas más cálidas se observan en las construcciones de edificios sociales de alta densidad y carentes de vegetación, que se ubican en los municipios en que predominan los sectores de menores niveles socioeconómicos, mientras que las más frías lo hacen en los barrios donde residen los sectores sociales de más altos ingresos, caracterizados por predominio de las áreas verdes y bajas densidades residenciales. La planificación urbana a escala de barrio debería implementar estrategias y acciones explícitas de mitigación y adaptación de los espacios urbanos ante los procesos de cambio climático.

PALABRAS-CLAVE: Cambio Climático, Urbanización, Islas de Calor.

ABSTRACT

Climate changes observed in cities associate global warming effects with heat island development, caused by urbanization and directly related with socioeconomic composition of diverse neighborhoods, which in the case of Chile, correspond to a landscape mosaic of deeper social inequalities. Neighborhoods present different thermal climatic zones that result from several land uses and covers, housing densities and designs, and vegetation covers. Warmest areas are found in several stories social buildings of highest density, and scarce green areas, which are located in those parts of the city where low income population predominates. Coolest areas are found, on contrary, in those neighborhoods where live the most affluent people, characterized by green spaces and lower dwelling densities. Urban planning at neighborhood scale should implement explicit mitigation and adaptation measures to confront climate changes.

KEYWORDS: Climate Change, Urbanization, Heat Island.

Hugo Romero

Dr. en Geografía, Universidad de Zaragoza. Se desempeña como profesor asociado del Departamento de Geografía y director de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Ha dirigido proyectos de investigación en donde ha estudiado los impactos y sustentabilidad ambientales del crecimiento de las metrópolis chilenas, sus riesgos naturales, clima urbano y segregación socio-ambiental.
E-mail: hromero@uchilefau.cl

Marcela Salgado

Socióloga, Magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Universidad de Chile. Profesora ayudante del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile. Ha participado en proyectos de investigación financiados por el Estado chileno especializándose en medioambiente urbano, abordando temas como segregación e injusticia socio-ambiental.

Pamela Smith

Geógrafa, Candidata a Magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Universidad de Chile. Profesora Ayudante del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile. Ha participado como coinvestigadora en proyectos con financiamiento estatal, desarrollándose principalmente en la investigación del medio ambiente, sustentabilidad ambiental, clima y medioambiente urbano.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha surgido como uno de los grandes temas globales e interdisciplinarios en la actualidad y como una de las principales fuentes de controversia entre los países y regiones ricos, que producen el efecto invernadero, y las áreas pobres del planeta, que reciben sus efectos adversos en forma desproporcionadamente alta, sin participar mayormente de sus orígenes, generándose con ello una auténtica falta de justicia ambiental. Al mismo tiempo, los cambios climáticos pueden ser interpretados como una crítica a los modelos de desarrollo capitalista en general y, especialmente, a aquellos inspirados en el neoliberalismo, que han privilegiado las rentabilidades económicas por sobre los costos ambientales y sociales, como única medida de progreso. El cambio climático corresponde a una de esas externalidades negativas del proceso de producción de bienes, servicios, espacios y territorios, que aseguran la reproducción y acumulación del capital y que por ello se asocian causalmente con las condiciones socio económicas de la población, que están determinadas a su vez, por los sistemas de producción, intercambio, distribución y consumo de bienes y servicios a diferentes escalas espaciales. Las ciudades y metrópolis concentran algunas de las causas y consecuencias principales de los cambios climáticos.

El clima ha sido considerado tradicionalmente como un componente de la naturaleza, que es tratado por lo tanto, por las ciencias naturales, tales como la meteorología y la climatología. Sin embargo, cuándo se consideran las causas y consecuencias de los climas urbanos, se advierte de inmediato que las grandes variaciones de temperaturas, humedad, ventilación o calidad del aire que se observan al interior de las ciudades, se relacionan espacial y temporalmente con los procesos y características socioeconómicas de sus barrios. El clima urbano resulta de transformaciones inadvertidas e intencionales introducidas sobre los climas regionales y locales, que se relacionan directamente con la construcción social de

espacios y lugares, que adquieren especificidad e identidad, en función de los contextos económicos, sociales y políticos en que se desarrollan. Dentro del modelo neoliberal que se ha aplicado ininterrumpidamente e en Chile por más de 35 años, las características de los climas urbanos han sido evaluadas y comodificadas, es decir, convertidas en bienes y servicios transables en el mercado, como ha sucedido con otros componentes del medio ambiente urbano, como el suelo, el agua y la biodiversidad. Como una commodity, el clima urbano forma parte del precio final que alcanzan, por ejemplo, los proyectos inmobiliarios. Un clima urbano que contenga aire de adecuada calidad física y química es un bien crecientemente escaso en las metrópolis latinoamericanas y su demanda le asegura un precio cada vez más elevado. El mercado asigna dicho precio dependiendo de la localización de los proyectos inmobiliarios, en áreas de mejor o peor clima urbano, especialmente cuándo las ciudades son altamente contaminadas y la población muestra una mayor disposición a pagar por una mejor calidad del aire. Los paisajes de la ciudad que registran una mejor calidad de aire, se asocian a barrios de baja densidad residencial, áreas verdes abundantes, vistas panorámicas espectaculares y son parte del imaginario social deseable, que se publicita y comercializa en los mercados inmobiliarios y a los que sólo se puede acceder, de acuerdo a los niveles de ingreso económico de la población.

En forma inversa, las áreas más riesgosas (sometidas a inundaciones o aluviones), de extremas condiciones climáticas (mayores oscilaciones térmicas diarias, atmósfera más seca, menor ventilación), registran la peor calidad del aire, se concentran en los sectores socialmente más deprimidos de las ciudades y ello se ve reflejado directamente en los menores precios de las viviendas, reforzando, de paso, los procesos de segregación y exclusión socioambiental de la población de la ciudad. La asociación espacial entre barrios climáticamente degradados o riesgosos y la localización de las viviendas de los sectores sociales más

vulnerables, constituye no sólo una manifestación de segregación socioambiental, sino que además denuncia una falta de justicia ambiental, en la medida que grava en forma desproporcionadamente alta, por razones socioeconómicas, a una parte mayoritaria de los habitantes de las ciudades. Sólo se advertirán progresos en esta materia, cuándo la totalidad de los habitantes de la ciudad se distribuyan más o menos homogéneamente los riesgos y falta de confort climático y una adecuada calidad del aire, lo cual depende necesariamente de la formulación de políticas públicas destinadas a compensar la falta de equidad socioclimática.

Siendo las ciudades los principales hábitats y nichos ecológicos de la humanidad, llama la atención que las preocupaciones por los cambios climáticos no se hayan desarrollado relevantemente en la planificación y gestión ambiental de las ciudades latinoamericanas. Los cambios en los climas urbanos son rápidos y espacialmente específicos y están asociados principalmente a la generación y desarrollo de las islas de calor en torno a las áreas centrales y a los barrios de mayor densidad de ocupación y que presentan escasas áreas verdes, así como al desaparecimiento de islas frías, representadas especialmente áreas de cultivos, por parques y jardines urbanos, y a las alteraciones de los ciclos hidrológicos, particularmente en términos del aumento de las Áreas Totales Impermeables (ATIs). Estos últimos son causados por la urbanización de cuencas, que provoca una disminución de la humedad atmosférica y una mayor ocurrencia de inundaciones debido a la reducción de las capacidades de infiltración de las aguas de lluvia en el suelo.

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. Se aprecian nítidamente en la generación y crecimiento de las islas de calor urbano, mediante las cuáles las temperaturas de las ciudades aumentan no sólo en la cantidad que resulta de los cambios globales,

sino que además debido a la propia acumulación que registran sus construcciones. La generación de calor urbano se asocia directamente con el tamaño y cantidad de población de las ciudades, siendo mayor en las metrópolis, lo que se advierte claramente en el Área Metropolitana de Santiago, la ciudad capital de Chile, que concentra el 45% de la población y del Producto Interno Bruto del país.

Los cambios climáticos al interior de las ciudades 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. Dichos planes deberían proponer medidas explícitas para controlar el aumento de las temperaturas y combatir la reducción de la humedad atmosférica y la ventilación. Los planes urbanos tendrían que indicar localizaciones de nuevas áreas residenciales, densidades y usos y coberturas de suelos, que consideraran específicamente el mejoramiento de las condiciones climáticas al interior de la ciudad. Deberían además contribuir a resolver las inequidades socioclimáticas que no sólo no han disminuido el último tiempo, sino que han aumentado simultáneamente con las supuestas preocupaciones de la sociedad actual ante los cambios climáticos.

Las investigaciones practicadas en Chile ratifican que las condiciones climáticas urbanas se relacionan directamente con los usos y coberturas de los suelos y que éstos lo hacen a su vez, con los niveles de ingreso económico de la población. El ingreso económico se asocia igualmente en forma directa a los niveles de educación y esperanza de vida de la población, predominando en la ciudad de Santiago el Grupo D o de niveles socioeconómicos medios-bajos. Cada estrato de ingreso se localiza en áreas de la ciudad cuyo valor económico del suelo, residencias y

equipamiento, restringe su acceso a grupos sociales exclusivos, lo que se traduce en una persistente y creciente segregación socio-ambiental. Las ciudades chilenas, como representación de las ciudades latinoamericanas, presentan como rasgo distintivo, profundos desniveles socioeconómicos y segregación social entre sus habitantes, lo que se expresa en condiciones ambientales diferentes y consecuentemente, en diversas características climáticas, que están siendo transformadas de manera específica por los procesos de cambio climático, afectando en algunos casos en forma adversa la salud de la población y de los ecosistemas.

Cambios climáticos y climatología urbana

Por lo general, se carece de evaluaciones ambientales tanto en lo que respecta a los efectos causados por la expansión de las ciudades sobre el proceso de Cambio Climático como de éste sobre el medio ambiente urbano. En efecto, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, en su sigla en inglés) en su cuarto reporte del año 2007 (IPCC, 2007) enfatiza este último punto, resaltando la necesidad de lograr una transición en la estructura y funcionamiento de los ambientes construidos para mitigar simultáneamente el cambio de clima y adaptarse a los efectos del calentamiento climático. De esta forma, la mitigación y adaptación de los asentamientos humanos, orientadas a resistir las condiciones extremas que resultarán del calentamiento climático, ha llegado a ser uno de los desafíos más formidables de nuestros tiempos (PIZARRO, 2009).

Estudios practicados en Estados Unidos (STONE, 2007) y Japón (FUJIBE, 2008) se han centrado en conocer la geografía de los cambios climáticos, ocurridos en conjuntos seleccionados de ciudades, distribuidas en esos países. Para ello han analizado estadísticamente las variaciones temporales de los datos meteorológicos disponibles, sobre los cuales se han separado las tendencias de background de las propiamente urbanas. Las primeras se refieren a las variaciones climáticas de largo

plazo, que se han registrado en las áreas rurales, i.e. sin intervenciones urbanas. Estos datos son comparados con aquellos registrados en las áreas urbanas y, de esta forma, ha sido posible separar los cambios climáticos globales y los propiamente urbanos. Por otro lado, estas bases de datos estadísticos, disponibles a escala nacional, aíslan otros factores geográficos tales como altitud y continentalidad, con la finalidad de determinar las variaciones que deben ser atribuidas única y exclusivamente al proceso antropogénico de calentamiento global.

Una de las principales dificultades para abordar el estudio de los cambios climáticos a escala de ciudades se debe a la inexistencia de bases de datos y aún más, a la presencia de pocas estaciones meteorológicas que permitan caracterizar esas variaciones desde el punto de vista temporal y espacial. Mientras los estudios practicados en Estados Unidos y Japón concluyen identificando un incremento de 0,3-0,4°C por década, el IPCC identifica un incremento de eventos extremos en Sudamérica, destacando en el caso de Chile Central un aumento de los procesos de desertificación y degradación del suelo, modificando con ello el ciclo hidrológico y clima de la región (MAGRIN, et al., 2007). El informe se refiere a otros factores estresantes derivados del cambio climático, como una mayor presión demográfica sobre áreas urbanas (debido a la emigración de áreas rurales afectadas), pero, sin embargo, no considera las características existentes al interior de las ciudades. De acuerdo a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) de Chile (DGF, 2006), bajo el Escenario A2 (moderado), se espera que aumente la temperatura de Chile Continental entre 2,0° y 4,0°C y que las precipitaciones disminuyan en 40%. No obstante este estudio, como el del IPCC no hace una referencia explícita de las ciudades chilenas.

BARROS (2006) establece que el proceso de calentamiento no será uniforme geográficamente, razón por la cual se producirán cambios en los gradientes de temperatura y consiguientes alteraciones en la circulación de los vientos, la distribución de las precipitaciones y las corrientes

marinas. Si bien hasta ahora el problema de las emisiones de gases invernadero se ha abordado desde una perspectiva global, es claro que las consecuencias serán sentidas a nivel local (SAAVEDRA y BUDD, 2009), siendo necesarias comparaciones espaciales a nivel urbano-rural e intra e interurbano. Para dichas comparaciones es fundamental disponer de datos e informaciones que den cuenta de las variaciones espaciales al interior de las ciudades, algo que no se obtiene a partir de las estaciones meteorológicas, que 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. De allí que las investigaciones sobre climatología urbana empleen simultáneamente estaciones fijas de mediciones instaladas en áreas representativas de ciertas tipologías, tanto respecto a las edificaciones como a los paisajes de la ciudad, y transectos móviles que la cruzan a lo largo y ancho, midiendo en las áreas de cambio de usos y coberturas de los suelos, y, especialmente, utilizando los datos proporcionados por las imágenes satelitales termales, que son adquiridas mediante una grilla regular o píxeles en que se divide la superficie construida.

En el caso de las ciudades propiamente tales, los cambios climáticos de background (de escala global y regional), deben relacionarse con aquellos causados por la expansión urbana. La urbanización es uno de los fenómenos que dirige el cambio de los patrones de uso y cobertura de la tierra y éstos, a su vez, las transformaciones de los indicadores climáticos. Cada uno de los usos y coberturas de los suelos que conforman el espacio urbano y sus periferias genera condiciones climáticas de alcance local, destacando las islas de calor, humedad y ventilación (OKE, 1987; OKE, 1995). El cambio de los usos y coberturas de suelos causados por la urbanización, corresponde en términos generales a la sustitución de áreas naturales y rurales, como vegetación nativa o cultivos, por usos urbanos, industriales y residenciales y además por suelos desnudos o "cafés", productos de las construcciones y especulación de tierras

(PAULEIT y DUHME, 2000; PAULEIT, et al., 2003; WHITFORD, 1998; WHITFORD, et al., 2001). OKE (1998) señala que la actividad del hombre en la ciudad se manifiesta de manera consciente en el espacio, lo que se define como morfología urbana, y de manera inadvertida, a través de los efectos que se derivan del espacio construido sobre la ecología de paisajes, hidrología y clima urbano. El cambio climático experimentado al interior de la ciudad puede provocar como principal consecuencia modificaciones importantes en las temperaturas máximas y mínimas y un cambio en el régimen de precipitaciones, lo que a su vez genera consecuencias sobre la salud pública, seguridad y emergencias por aumento de riesgos naturales (SAAVEDRA y BUDD, 2009). La manifestación de episodios extremos es un aspecto clave del cambio climático (BRABSON y PALUTIKOF, 2002; KATZ y BROWN, 1992; MEEHL, et al., 2000; SCHÄR, et al., 2004). No obstante, el impacto de estos extremos depende también del clima de línea de fondo del área estudiada (BENISTON y STEPHENSON, 2004).

En los últimos años se han sucedido eventos de extremo calor en Europa, fenómeno bautizado como "Olas de Calor". Estos se caracterizan por presentar temperaturas sobre 4°C por encima de las temperaturas máximas normales. La urbanización constituye un factor agravante adicional ya que preserva temperaturas de noche en niveles altos debido al almacenamiento de calor durante el día (MATZARAKIS y MAYER, 1991). FOUNDA y GIANNAKOPOULOS (2009) establecen que las temperaturas máximas registradas en la ciudad de Atenas son semejantes a las temperaturas proyectadas para ocurrir durante la última parte del siglo (2071-2100). Esto puede servir entonces de referente para establecer los posibles efectos que tendrá el calentamiento global en la ciudad, como por ejemplo una mayor vulnerabilidad ante incendios forestales, daños ecológicos de diversa índole ligados a la aparición de vectores y desaparición de flora y fauna nativa, y un incremento de enfermedades e incluso muertes humanas especialmente de la población más vulnerable.

Por otro lado, el invierno del Hemisferio Sur del año 2010 se caracterizó por la ocurrencia de ondas de frío, que se manifestaron en los meses de julio y agosto, abarcando desde la Patagonia Austral de Argentina y Chile hasta la selva amazónica de Brasil y Colombia, provocando cientos de muertes, especialmente de niños y ancianos de las zonas frías de altura de Perú y Bolivia y numerosas víctimas en las ciudades de Argentina, Chile, Uruguay y Paraguay (ROMERO Y MENDONCA, 2011), además de gran cantidad de daños sobre la agricultura y la ganadería de las zonas rurales. Las ciudades, muchas veces aisladas por la nieve y el frío, demandaron grandes cantidades de energía que no se encontraba disponible y que, como en el caso de la ocurrencia de olas de calor, demostraron su escasa adaptación a las variaciones climáticas extremas.

En este sentido, se puede decir que se sabe poco sobre las características y efectos de los cambios climáticos en las ciudades chilenas y la manera en que afectarían a sus diferentes paisajes urbanos y grupos sociales. Tampoco se ha investigado respecto al estado de la información de que dispone la sociedad, y por ello se desconoce la existencia de planes territoriales, medidas de contingencia y participación social en el diseño e implementación de estrategias de adaptabilidad. Los estudios realizados en la metrópoli de Santiago, ciudades grandes como Valparaíso, y ciudades medias como Chillán, Rancagua, Los Ángeles y Temuco (HENRÍQUEZ, et al., 2002; ROMERO, et al., 1996; ROMERO, et al., 2001), concluyen en que se han desarrollado islas y archipiélago de calor urbano asociados a los cambios de usos y coberturas de los suelos causados por el rápido, continuo y persistente proceso de urbanización. Cada uso urbano del suelo posee un comportamiento térmico distinto, razón por la cual la ciudad se convierte en un sistema complejo de mosaicos de paisajes diferentes, cada uno de los cuales presenta sus particulares coeficientes de absorción, almacenaje y emisión de calor. Esta complejidad aumenta si se consideran además ciertos elementos que configuran las distintas tipologías urbanas tales como la vegetación y la altura de las

construcciones, entre otros (ELIASSON, 1999; HONJO, et al., 2003; ROHINTON, 1999).

La urbanización aumenta el calor antrópico (MORENO, 1993), produciendo alteraciones en el confort térmico y favoreciendo el nacimiento de Islas de Calor Urbano (ICU) (OKE, 1995:1998). La temperatura del aire en las ciudades, respecto al entorno rural, puede elevarse en 2 a 8°C (OKE, 1987). La intensidad de la isla de calor aumenta en el transcurso del día, partiendo desde la salida del sol hasta un máximo que se registra unas pocas horas después de la puesta del sol y las horas previas a la madrugada. Generalmente durante el día la intensidad del calor urbano es bastante débil, y a veces negativa (una isla fría o áreas de hundimiento de calor) en algunas partes de la ciudad como consecuencia de que los edificios altos u otras estructuras proveen de sombras extensas, así como debido a los materiales de construcción (PEÑA, 2008; VOOGT and OKE, 2003). Según ROTH et al. (1989) y VOOGT and OKE (2003) la formación de islas de calor es favorecida por materiales de construcción relativamente densos, que son lentos en calentarse y enfriarse, y almacenan una cantidad importante de energía; por el reemplazo de las superficies naturales por superficies impermeables, donde hay menos agua disponible para la evaporación, la cual contrarresta el calentamiento del aire. Por último, las superficies oscuras, tales como las carreteras de asfalto, absorben más radiación solar y adquieren temperaturas mucho más altas que las superficies de color claro.

El desaparecimiento de las áreas verdes debería causar un significativo aumento de las temperaturas, que debe sumarse a las tendencias globales y regionales, para producir islas de calor de mayor extensión y magnitud, al mismo tiempo que desaparecen los "oasis vegetales", las brisas de parque y las fuentes de humidificación atmosférica. HONJO et al. (2003) establecen que la presencia de superficies vegetadas es decisiva para la mitigación de las islas de calor urbanas, ya que parques y jardines se comportan como "islas de frescor" y generan un fenómeno

llamado "brisa de parque" durante la noche, contribuyendo a enfriar los espacios construidos. ROHINTON (1999), sin desconocer la importancia de lo anterior, establece que el factor más significativo en el comportamiento del clima urbano lo constituye el color de las construcciones.

Expansión urbana y cambio climático

Desde hace tres décadas, Santiago ha experimentado un explosivo crecimiento de los usos de suelo urbanos, que ha significado duplicar su superficie, pasando de 43.000 Há. construidas en 1975 a más de 65.000 el año 2005 (ROMERO et al., 2006). La mayor parte de los suelos de la cuenca del Maipo-Mapocho, ha sido ocupada por urbanizaciones de alta y baja densidad y por instalaciones industriales. Las urbanizaciones de baja densidad han sustituido principalmente paisajes naturales cubiertos con vegetación densa y dispersa, localizados en la sección oriental de la cuenca. Por el contrario, las áreas residenciales de alta densidad han ocupado principalmente tierras previamente agrícolas, ubicadas de preferencia en el sector poniente.

Las temperaturas urbanas más altas en el suelo y la atmósfera durante las mañanas son registradas en las comunas del NW de Santiago (Quilicura, Colina, Pudahuel y Maipú), mientras en la zona SW, las comunas de San Bernardo y Calera de Tango, mantienen temperaturas menores que son transferidas al centro de la ciudad a través de un corredor formado por el cono de aproximación del Aeropuerto de Cerrillos. El resto de la ciudad y particularmente el centro histórico permanece más frío durante las mañanas, permitiendo, por comparación con los bordes del poniente, el desarrollo de islas de calor no urbanas. Sin embargo, la situación comienza a cambiar al mediodía, cuando las temperaturas del centro igualan primero, y luego superan, a las rurales. Las islas de calor se ubican desde esta hora cerca del centro histórico y las áreas comerciales que lo rodean. Finalmente, la forma típica de la isla de calor urbana se localiza sobre el centro histórico y puede ser registrada en las noches de verano e invierno.

Existen importantes relaciones espaciales entre los usos y cubiertas de la tierra y las temperaturas del aire de la ciudad y su evolución diaria. Tal como se ha indicado, se desarrollan islas de calor no urbanas en las primeras horas del día, que parecen estar más relacionadas con las cargas de insolación y la presencia de suelos oscuros, antes que con la naturaleza de los cuerpos urbanos. Sin embargo, al mediodía, se comienzan a desarrollar micro islas de calor urbano sobre las áreas construidas más notables e impermeabilizadas, tales como los aeropuertos y zonas industriales, que alcanzan las temperaturas más elevadas en el verano (32,5°C). En la noche estas islas de calor se consolidan espacialmente sobre las zonas industriales, aeropuertos y áreas residenciales de alta densidad. Una diferencia promedio de 2°C se registra entre las temperaturas del aire de las áreas residenciales de alta y baja densidad como consecuencia de los diferentes porcentajes de áreas verdes e impermeabilizadas. Las áreas más cálidas y más frías son resultantes de controles socioeconómicos antes que de factores naturales y dependen mayormente de la planificación urbana y por ende, de decisiones adoptadas por la sociedad.

Los planificadores y los gestores urbanos comparten importantes responsabilidades sobre los cambios climáticos actuales y futuros en las ciudades. Las actuales bajas condiciones de calidad de vida urbana que afectan a la mayor parte de la población de Santiago -disconfort térmico, contaminación atmosférica, enfermedades respiratorias y crónicas relacionadas, riesgos naturales como inundaciones, avalanchas y anegamientos- revelan severas y permanentes fallas en la planificación y gestión de las ciudades chilenas y constituyen un urgente llamado para resolver estos problemas acumulativos.

Las tasas de impermeabilización y las cubiertas vegetales -ambas dependientes de decisiones políticas- deben ser consideradas en la preparación de planes reguladores y adopción de decisiones acerca de las asignaciones de usos de los suelos, densidades urbanas, naturaleza y localización de los parques y áreas verdes urbanos, cinturones verdes y corredores

ecológicos, pensando en términos de control climático, mejoramiento de la calidad de vida y mayor equidad social. Como sucede a escala global, los cambios de clima en las ciudades no son un asunto puramente biofísico sino un creciente problema social, cultural y político.

La confección de planes reguladores y territoriales que eviten la generación de las islas de calor o que garanticen el desarrollo de las islas frías al interior de las ciudades no puede depender del mercado inmobiliario. Tales áreas ocupan lugares estratégicos y corresponden a sitios ecológicos sensibles como bordes costeros, humedales o piedemontes, que deben ser considerados de interés público y por ello, protegidos como áreas de conservación de servicios ambientales. Estas proposiciones son contrarias a las formas y significados de la planificación urbana actual que se aplica en el país, por lo que se requieren profundas reformas institucionales que, a su vez, necesitan de adecuados soportes sociales y políticos.

Pobreza y climas urbanos

Se ha mencionado en párrafos anteriores que las islas de calor y las temperaturas de la ciudad de Santiago varían temporal y espacialmente. Las temperaturas son más altas en el borde occidental de la ciudad durante el inicio de la mañana y más frías en las noches. En esta parte de la ciudad se concentra la población de estratos socioeconómicos medios y medios bajos. El centro de la ciudad es más fresco en las mañanas y más cálido en las noches y en él predomina la población de clase media y clase media alta. El sector oriental registra las temperaturas más moderadas, presentando días más frescos y noches menos frías. En estas áreas reside la población que pertenece a los estratos socioeconómicos medios altos y altos. Santiago es una ciudad claramente segregada socialmente y ello implica paisajes urbanos típicos de cada una de sus zonas y como consecuencia de ello, climas también diferentes.

La distribución de las temperaturas del aire se relaciona también con la de la

contaminación atmosférica, tomando como ejemplo lo que sucede con el Material Particulado MP10 (aerosoles contenidos en la atmósfera de tamaño menor a 10 micras que son totalmente respirables y dañinos para la salud). Existe una relación logarítmica entre las temperaturas del aire y las concentraciones de MP10 que explica el 86% de su varianza. Las concentraciones nocturnas de MP10 aumentan con las temperaturas, particularmente entre los 19 y 22°C. Eso significa que la contaminación atmosférica se concentra en el centro de la ciudad durante las noches y sobre el borde poniente durante las mañanas.

Un $R^2=0,819$ indica que las temperaturas urbanas se correlacionan fuertemente con la distribución de la población según sus condiciones socioeconómicas. La población de altos ingresos reside en áreas de temperaturas urbanas menores, debido a que sus sectores residenciales son de densidad más baja y tienen numerosas áreas verdes en sus alrededores. La clase alta (ABC1) es el único grupo social que puede obtener temperaturas moderadas durante las noches de verano como producto de las amenidades urbanas de sus exclusivos y segregados vecindarios. Las otras clases sociales (C2 y C3) registran temperaturas intermedias y no muestran grandes variaciones. El modelo de correlación logarítmica ha sobrestimado las temperaturas registradas en áreas ocupadas por las clases sociales más bajas.

La calidad del aire, representada por la distribución del material particulado, se relaciona también en forma significativa con las áreas socioeconómicas de la ciudad, tanto en las noches de invierno como de verano ($R^2=0,84$ y $R^2=0,79$, respectivamente). En las noches de verano, cuando la calidad del aire es buena en la totalidad de la ciudad, las micropartículas son aun menores en las áreas donde vive la gente rica. Tales condiciones ambientales de las áreas donde reside la gente con más altos ingresos de la ciudad, se corroboran en la estación de invierno, cuando la contaminación del aire es el problema ambiental más relevante en Santiago. Durante las noches de invierno, sólo las áreas urbanas donde reside la población de

más altos ingresos puede registrar una buena calidad del aire. El resto de la ciudad, donde residen las personas de los grupos de ingresos medios bajos y pobres, presenta una calidad del aire regular, o definitivamente mala.

Un incremento de las temperaturas urbanas, asociado a valores más elevados de carácter global, por lo tanto, debería acentuar las diferencias entre los diversos sectores sociales de las ciudades, consolidando una auténtica serie de injusticias ambientales, es decir, la sobrecarga de efectos negativos sobre los sectores más desfavorecidos y vulnerables. Entre esas sobrecargas se encuentra la contaminación atmosférica, que ya presenta una distribución espacial totalmente injusta, que se debería agravar en el futuro, afectando en forma desproporcionadamente negativa la salud y calidad de vida de la mayoría de la población de Santiago.

Desde 1990, sin embargo, se ha estado produciendo un creciente proceso de gentrificación y por ello comienzan a ser evidentes, marcadas diferencias socioeconómicas al interior de las comunas que componen la ciudad, lo que complica enormemente los mosaicos paisajísticos y consecuentemente las zonas climáticas. Como la densidad de las edificaciones, el tamaño de los terrenos y las características de las construcciones dependen de los niveles socioeconómicos de la población, sería posible otorgar un alto significado social a las "zonas climáticas termales" (STEWART y OKE, 2009). Estas zonas climáticas urbanas dividen los terrenos urbanizados en regiones discretas y homogéneas que corresponden a un sistema de clasificación de paisajes basado en rasgos que influyen la formación de islas de calor urbano tales como geometría superficial, exposición o cubierta de los suelos (STEWART y OKE, 2009).

METODOLOGÍA

La investigación se ha llevado a cabo en tres comunas de la ciudad de Santiago, escogidas porque poseen características particulares en su localización



Figura 1 - Área de Estudio. Localización de las comunas de Cerrillos, Santiago Centro y Peñalolén.

y configuración espacial, dinámica urbana y condiciones socioeconómicas de la población. Las comunas seleccionadas fueron Santiago Centro, Cerrillos y Peñalolén (ver figura 1).

La comuna de Peñalolén se localiza en los faldeos de la pre-cordillera de los Andes, en el extremo oriente de la ciudad de Santiago. Es una de las diez comunas de mayor extensión territorial, con una superficie de 54,9 Km². Actualmente se caracteriza por ser uno de los sectores con más acelerado crecimiento demográfico. Si bien, desde sus orígenes, ha sido considerada una de las comunas más pobres de la región, en los últimos años ha sido objeto de un acelerado proceso de gentrificación y una fuerte inversión inmobiliaria en viviendas para sectores medios y medios altos, indicio de un proceso

de cambio en su estructura socioeconómica hacia una más heterogénea y diversa.

Por su parte, el sector donde se localiza la comuna de Cerrillos era originalmente agrícola, comenzando posteriormente un paulatino proceso de industrialización. Luego, en la década de 1970 se produjo un proceso de urbanización que trajo consigo la actual dicotomía entre asentamientos industriales y poblacionales.

La Comuna de Santiago, se caracteriza por el rol central que cumple en el abastecimiento de diversos servicios, comercio, equipamientos, etc., funciones urbanas especializada que definen la diversidad de sus barrios. En esta comuna, se ha experimentado un proceso de renovación urbana subsidiado por el Estado con el fin de detener la emigración demográfica y revertir los grados de deterioro, reconstruyendo espacios

residenciales destinados a grupos de ingresos medios y medios-altos que trabajan y/o estudian en la comuna.

Identificación de Zonas Climáticas Termales

Se ha procedido a realizar una primera clasificación de los climas urbanos existentes al interior de la ciudad, para lo cual se ha elaborado una tipología (tabla 1) que corresponde a una adaptación de las zonas climáticas termales definidas por STEWART y OKE (2009). Para ello se llevó a cabo una fotointerpretación sobre imágenes QuickBird escala 1:5000 de los años 2008 y 2009, proporcionadas por el software Google Earth, con resolución espacial de 2.44 metros en las bandas multiespectrales (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano).

Tabla 1 - Tipología Zonas Climáticas Urbanas.

Tipología Stewart & Oke (2009)	Adaptación	Características
Compact Lowrise	Urbanización Alta Densidad	Áreas continuas de viviendas, con escasos o nulos espacios entre cada estructura, entre 60 y 80% de superficie impermeabilizada.
	Urbanización Media Densidad	Viviendas de disposición irregular con 40% y 60% de superficie impermeable.
Open Set Lowrise	Urbanización Baja Densidad	Áreas con un porcentaje de impermeabilización que oscila entre 20 y 40%.
Open Set Midrise – Blocks	Bloques de Viviendas	Edificación de altura baja a media (entre 3 y 7 pisos), con superficies impermeables que oscilan entre 25% y 50%.
Regular Housing	Viviendas Uniformes ó Regulares	Viviendas de disposición regular con 40% y 60% de superficie impermeable. Asociada a condominios cerrados.
Lightweight Lowrise	Campamentos	Construcciones de material ligero, asociadas a tomas ilegales de terrenos por población pobre
Extensive Lowrise	Industrias y Galpones	Áreas con superficie artificial sin vegetación que ocupa la mayoría del área, contiene grandes construcciones como: fabricas, galpones, multiendas y grandes supermercados.
Open Ground	Espacios Abiertos	Superficies con bajo porcentaje construido. Parques urbanos, universidades, colegios.
Bare Ground	Urbano en desuso	Sitios eriazos y suelos desnudos, sin presencia de vegetación.
Modern Core	Centro Nuevo	Espacios de alta densidad de construcción con edificios en altura (sobre 8 pisos) asociados a procesos de renovación urbana.
Old Core	Centro Antiguo	Espacios de alta densidad de construcción con edificios de mediana altura (4 a 7 pisos).
	Mixto (Centro antiguo y nuevo)	Coexisten espacios de alta densidad con construcciones de baja (1 a 3 pisos), media y gran altura.
Sparceley Developed	Asentamiento Disperso	Áreas residenciales Suburbanas, grandes predios con muy bajas tasas de construcción y alto porcentaje de cobertura vegetal (sobre 75%).

Obtención de variables ambientales

Las variables ambientales analizadas corresponden a Coberturas Vegetales y Temperaturas de Emisión Superficial, registradas en las áreas residenciales de las comunas seleccionadas. Ambas fueron obtenidas a partir del procesamiento digital de la imagen satelital ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) de fecha 2 de diciembre del año 2008, captada a las 14:51 hrs. Los procesos fueron desarrollados en los sistemas de información geográfica Envi 4.5 e Idrisi Andes, que permiten el manejo de información en formato raster, conformada por píxeles o cuadrículas distribuidos en forma regular.

Cobertura Vegetal

Para su reconocimiento se realizó una Clasificación Supervisada a escala de subpíxeles de las coberturas vegetales empleando el programa Idrisi Andes. Esta clasificación se basa en la selección de sitios de entrenamiento, escogidos bajo el criterio de verdad de terreno, es decir,

seleccionando lugares cuyo uso ó cobertura sea lo más claro y singular posible y reconocido mediante visitas a terreno, fotografías aéreas o experiencia del investigador. Los sitios de muestreo fueron creados en función de que poseyeran o no vegetación, de la que se extrajo la firma espectral correspondiente.

Una vez que se cuenta con las firmas espectrales que registran mayor especificidad en cada una de las bandas - condición necesaria para un resultado lo más cercano posible a la realidad-, se realizó una clasificación de las coberturas vegetales a una escala de sub píxeles empleando un clasificador blando, que permite destinar estas unidades espaciales a alguna de las siguientes clases de cobertura vegetal: 0 - 25%; 25 - 50%; 50 - 75% y 75 - 100%.

Temperatura de Emisión Superficial

Se obtuvo mediante la utilización del módulo del SIG Envi 4.5, que contiene los algoritmos del Método de la Emisividad Normalizada (NEM) elaborado por Gillespie en el año 1985.

El método de la emisividad

normalizada (NEM) estima la temperatura de la superficie terrestre asumiendo un determinado valor inicial para un píxel dado en todas las bandas térmicas de la imagen ASTER., La temperatura máxima estimada de la radiancia es considerada como la temperatura de emisión superficial. Para esta investigación la emisividad inicial seleccionada fue de 0.98 por ser un máximo representativo de cuerpos grises en muchas bandas espectrales.

Análisis Composición Socioeconómica del Área de Estudio

En Chile el acceso a la información sobre el ingreso real de los individuos y hogares es materia de secreto estadístico. Dada esta limitación, para determinar la composición socioeconómica del área de estudio se utilizó la clasificación propuesta por ADIMARK (2004). Esta clasificación, se basa en un modelo de estimación del nivel socioeconómico de los hogares, cuyo resultado es la identificación de cinco grupos: ABC1 y C2, que corresponden a los dos quintiles con más altos ingresos; C3 que corresponde al quintil con ingresos medios;

y finalmente, los sectores más pobres D y E.

Cada grupo socioeconómico se define considerando simultáneamente dos variables: el nivel de educación del jefe de hogar (sin estudios, básica incompleta, básica completa, media incompleta, media completa, técnico incompleta, universitaria incompleta o técnico completa, universitaria completa o más) y la tenencia de un conjunto de bienes (ducha, TV. Color, refrigerador, lavadora, calentador de agua, horno microondas, automóvil, TV por cable o satelital, computador personal e Internet). De acuerdo al modelo, estas variables se relacionan con el nivel cultural y con el stock de riquezas acumulado por un grupo familiar, correspondiendo al concepto tradicional de nivel socioeconómico. La información utilizada es obtenida del Censo de Población y Vivienda del año 2002 y ha sido procesada a través del sistema computacional REDATAM + G4. La unidad de análisis corresponde a las manzanas censales (unidad menor de la división político-administrativa, formadas por una cuadra por lado).

Si bien, esta clasificación ha sido utilizada principalmente en estudios de mercado, de modo incipiente ha comenzado a ser considerada en evaluaciones de segregación socioeconómica (SABATINI et al., 2007 y SIERRALTA, 2008) y en investigaciones que relacionan la condición socioeconómica de la población con características ambientales (DE LA MAZA et al., 2002; ESCOBEDO et al., 2006; MOLINA et al., 2007; VÁSQUEZ y SALGADO., 2009; VÁSQUEZ, 2008 y SALGADO, 2010).

La composición socioeconómica de las comunas estudiadas fue relacionada con las zonas climáticas termales, previamente identificadas.

Resultados

Zonas Climáticas Urbanas y Variables Ambientales

La distribución de la temperatura de emisión superficial al interior de las tres comunas estudiadas indica que predominan los valores elevados (entre 37,9 y 40,8°C), debido a que se trata del corazón de la

estación de verano y que éstas se concentran en Santiago Centro y son algo menores en Cerrillo y Peñalolén. Áreas urbanas que registren temperaturas en el suelo por debajo de 32°C son escasas. También son excepcionales las temperaturas superiores a 40.8°C, que sólo son significativas en la comuna de Cerrillos.

El porcentaje de cobertura vegetal tiene un comportamiento distinto, las comunas de Cerrillos y Santiago Centro muestran una distribución similar. En la comuna de Peñalolén, por su parte, predominan superficies que poseen más del 50% vegetado.

La figura 2a muestra, en primer lugar, las grandes diferencias en los usos y coberturas de suelos entre las comunas escogidas, de lo que debiera derivar también una gran diferencia en lo que respecta a las zonas climáticas termales. La comuna de Cerrillos posee una importante superficie ocupada por industrias y bodegas de almacenaje (galpones); en Santiago Centro dominan los barrios antiguos y nuevos, donde se ubican actividades financieras, comerciales y edificios de departamentos residenciales. En la comuna de Peñalolén, se observa una alta diversidad de usos y coberturas, pero predominan las tipologías asociadas a uso residencial de diversas densidades y aún se aprecian remanentes de los usos agrícolas (especialmente viñas) que caracterizaban el paisaje precordillerano hasta hace pocas décadas.

La temperatura de emisión diferencia también netamente a las comunas (Figura 2b). En Peñalolén se reconoce un archipiélago compuesto de islas e islotes, comparativamente menos cálidos. Se puede afirmar que se trata de una matriz urbana fresca, interrumpida por islas de calor urbanas. En Santiago Centro, por el contrario, predomina una matriz paisajística que genera islas de calor, interrumpida nítidamente por la presencia de parques, que se constituyen en fuentes exclusivas de aire más frío. Finalmente, en la comuna de Cerrillos existe una división clara entre su sector oriente, más cálido, y el poniente más frío. Ello se debe a una matriz urbana diferente, por la cual el primero está conformado por la pista de aterrizaje de un

aeropuerto actualmente abandonado, que registra temperaturas sobre 40°C, así como por galpones e instalaciones industriales que generan igualmente importantes acumulaciones de calor. En el sector poniente, en cambio, la mezcla de usos urbanos residenciales registra temperaturas más frescas.

La distribución espacial de las temperaturas superficiales se explica en gran medida por la distribución de las coberturas vegetales (Figura 2c). Nuevamente, en Peñalolén predominan las altas coberturas, excepción hecha del sector norte y una sección del sur. En Santiago Centro, la vegetación se observa sólo en el Parque O'Higgins y en pequeños paños entre las edificaciones. En Cerrillos, se advierte nuevamente una gran diferencia entre los sectores oriente y poniente.

La contrastada distribución espacial de la vegetación intraurbana es consistente con la densidad de ocupación de cada una de las de zonas termales. En los extremos, en las áreas ocupadas por blocks de edificios, asociados principalmente a viviendas sociales y zonas residenciales de alta densidad, predominan las coberturas vegetales menores de 50%. Por el contrario, las viviendas dispersas, que en el caso chileno se denominan "parcelas de agrado", poseen casi el 40% de su superficie con rangos de cobertura de vegetación que oscilan entre 75 y 100%.

Existen algunas diferencias entre las distintas tipologías de zonas termales y el porcentaje vegetado según la comuna de la cual se trate, encontrándose mayores superficies vegetadas y viviendas de menor densidad en la comuna de Peñalolén, ubicada en el oriente de la ciudad. En Santiago Centro no existe la tipología de viviendas de alta densidad, ya que por sus características funcionales, está especialmente ocupada por edificios de altura que conforman el llamado Centro Viejo cuando se trata de un predominio de construcciones antiguas espacialmente localizados en el espacio fundacional de la ciudad, o Centro Nuevo, cuando construcciones de edificios modernos han ampliado las funciones centrales hacia espacios adicionales. La coexistencia de

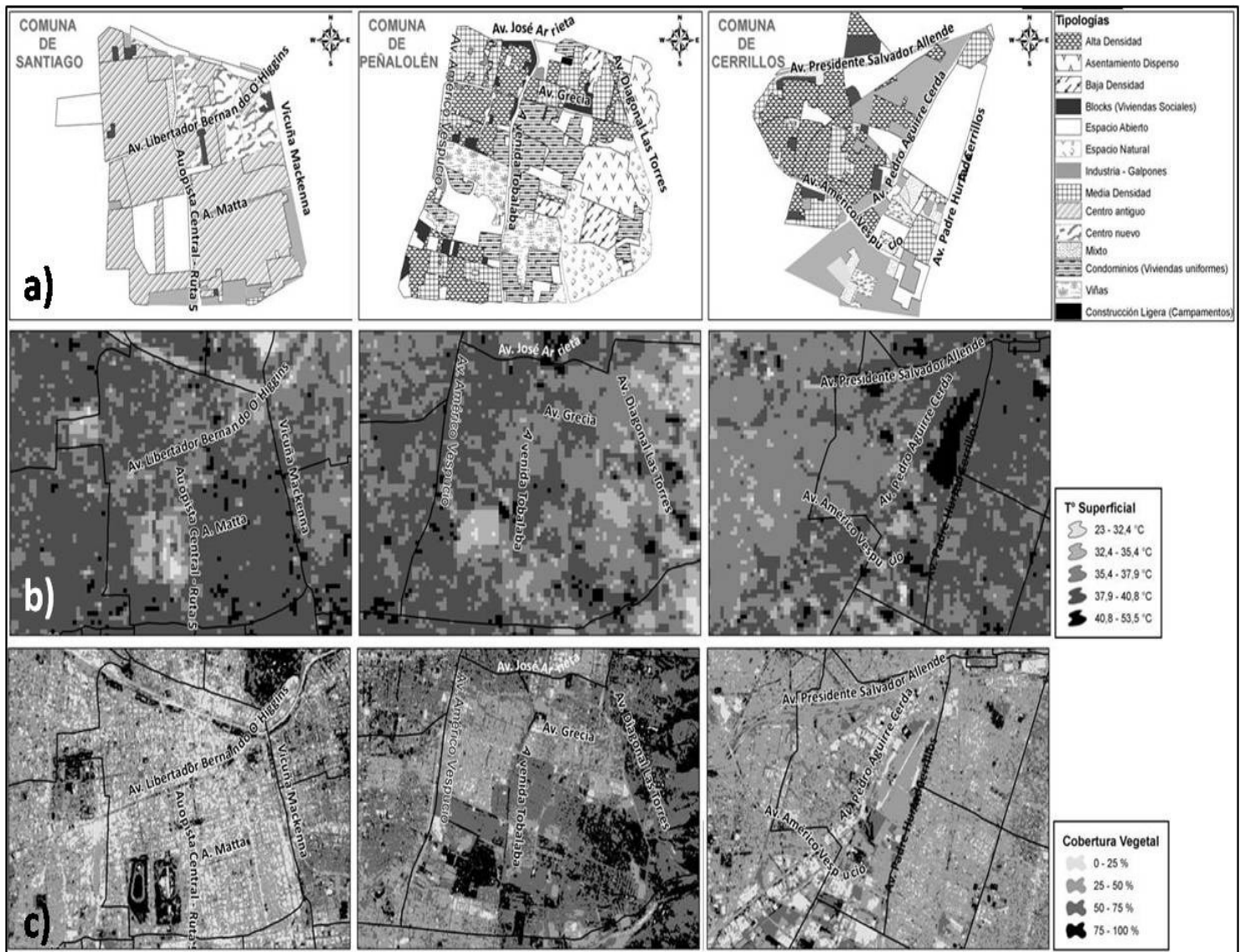


Figura 2 - (a) Zonas Climáticas, (b) Distribución de Temperatura de Emisión Superficial y (c) Cobertura Vegetal en las comunas de Cerrillos, Santiago Centro y Peñalolén.

ambos se ha denominado Centro Mixto. Todas estas zonas termales poseen muy poca presencia de vegetación, con porcentajes de coberturas inferiores al 25%.

La tipología de campamentos (que corresponde a viviendas de ocupación ilegal, de construcción precaria y dónde habitan grupos pobres), se encontraba sólo en la comuna de Peñalolén, y actualmente ocupan un espacio bastante reducido en las comunas de Santiago. Estas áreas presentan cubiertas vegetales similares a las viviendas

regulares de la comuna de Peñalolén y un comportamiento térmico casi idéntico al que poseen las áreas residenciales de baja densidad (Figura 3). La causa es que aún cuando la materialidad de la vivienda sea precaria, las superficies poseen muy bajos porcentajes de impermeabilización de los suelos, manteniendo la humedad y permitiendo el desarrollo de la vegetación.

Finalmente, respecto a la distribución espacial de las temperaturas de emisión superficial en relación a las zonas

termales, los bloques edificados de vivienda social y las áreas residenciales de densidad media aparecen como los espacios que concentran los valores más elevados, en especial en la comuna de Cerrillos. Por el contrario, el hábitat disperso y las viviendas de baja densidad de la comuna de Peñalolén registran las áreas más frescas. Las diversas zonas termales del centro de Santiago, tales como el centro antiguo y el nuevo, alcanzan elevadas temperaturas.

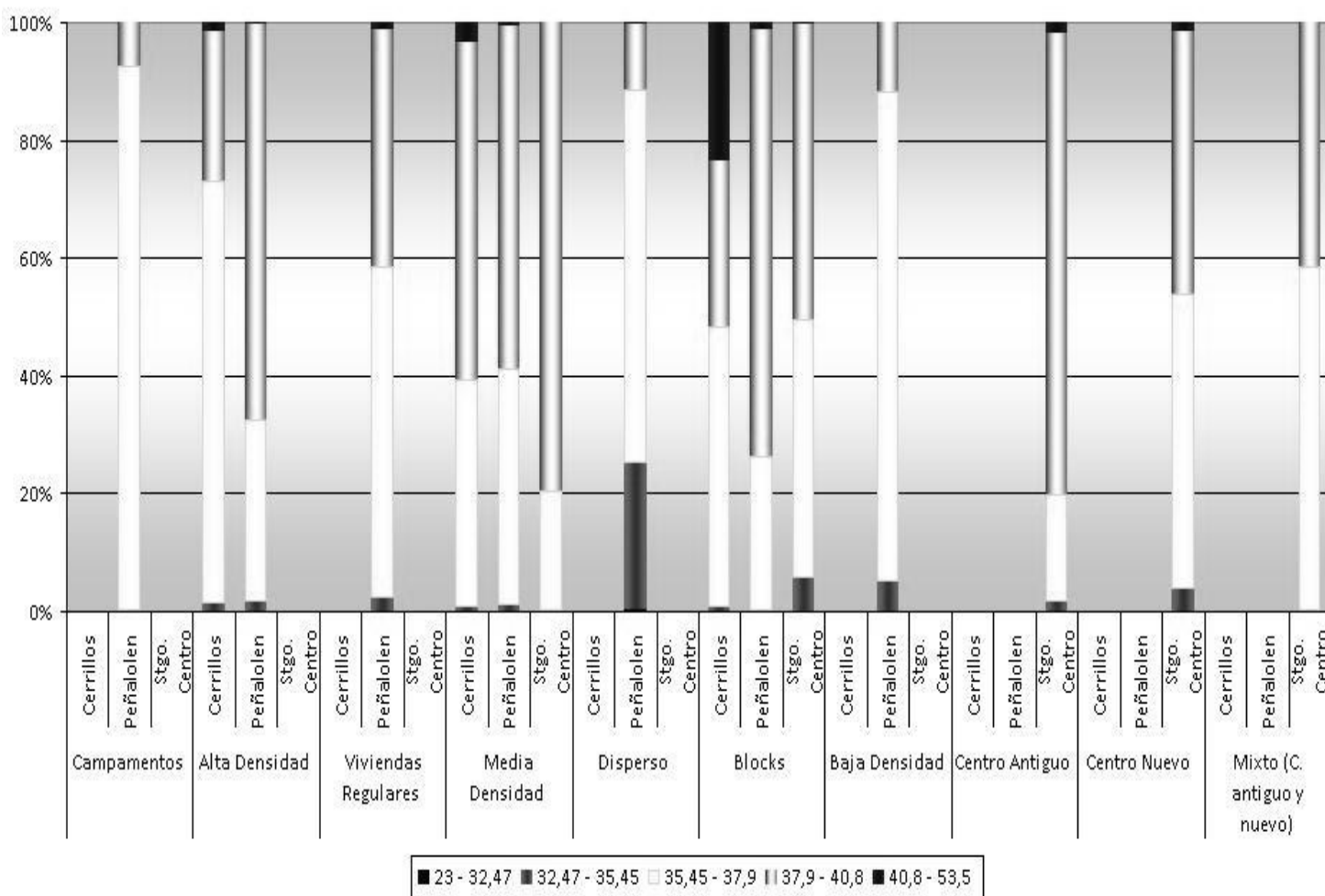


Figura 3 - Temperatura de Emisión Superficial por tipología Climática.

Composición socioeconómica en las zonas climáticas urbanas

Se observa una composición socioeconómica heterogénea de los estratos socioeconómicos en las comunas seleccionadas. Destaca, además, el alto porcentaje de participación del grupo de ingresos medios-bajos (D) en las comunas de Cerrillos y Peñalolén y de clase media alta (C2) en Santiago Centro. Esto indica que aún en las comunas que se pueden considerar más ricas, predominan los grupos que obtienen ingresos económicos medios. Los porcentajes más bajos de población pertenecen a los grupos de ingresos altos (ABC1) y bajos (E), tendencia que se corresponde con la composición socioeconómica de la ciudad de Santiago.

La diversidad socioeconómica que se observa al interior de las comunas de Santiago es, en gran medida, manifestación del proceso de transición producido por una incipiente situación de gentrificación (SIERRALTA, 2008 y SABATINI et al., 2007), por el cual los grupos de más altos ingresos comienzan a instalarse en condominios y ciudadelas localizadas en comunas tradicionalmente ocupadas en forma exclusiva por población pobre.

En la figura 4 es posible apreciar la composición socioeconómica al interior de las zonas climáticas termales. Los grupos de ingresos medios-bajos (D) y bajos (E) se encuentran al interior de las zonas caracterizadas por presentar viviendas de construcción ligera (campamentos que se localizaban sólo en la comuna de Peñalolén)

y altas densidades residenciales, cuyas temperaturas son relativamente altas. Al respecto, VÁSQUEZ (2008) y SALGADO (2010) identifican, para la comuna de Peñalolén, una clara relación entre las altas densidades residenciales y la carencia de cobertura vegetal que constituye un patrón típico de ocupación del espacio con escasa calidad ambiental asignado a los sectores sociales de menores ingresos.

Adicionalmente, las zonas de viviendas regulares o condominios cerrados que se encuentran exclusivamente en la comuna de Peñalolén, están habitadas mayoritariamente por grupos de ingresos altos (ABC1) y medios-altos (C2) y registran temperaturas más elevadas que lo que cabría esperar. Dichas zonas corresponden a hábitats segregados, con acceso

restringido, que se han ido instalando en los últimos años al interior de la comuna y, que se caracterizan por presentar una baja densidad residencial, viviendas uniformes y altos porcentajes de cobertura vegetal, constituyéndose en espacios de exclusividad y exclusión dada la presencia de muros que los separan del resto de la población.

En las zonas climáticas termales identificadas en la comuna de Santiago-centro (centro nuevo, centro antiguo y mixto), se observa una importante presencia de población del grupo de ingresos medios-altos (C2) que convive con grupos de ingresos medios (C3) y medios-bajos (D). Tal coexistencia se debe, en gran medida, a procesos de renovación urbana que han traído consigo la instalación de proyectos residenciales destinados a grupos de ingresos medios-altos, que trabajan y/o estudian en la comuna, en espacios que hace sólo unos años atrás eran habitados principalmente por grupos de menores ingresos. Sus temperaturas superficiales son

también relativamente elevadas.

Respecto a los blocks de edificios sociales, ubicados en las comunas de Cerrillos y Peñalolén, se observa una composición socioeconómica similar, caracterizada por la mayor presencia de grupos de ingresos medios y medios-bajos. Sus temperaturas son las más elevadas del total considerado, en particular en la comuna de Cerrillos. Esta situación es distinta a la composición socioeconómica de la comuna de Santiago-centro, donde se observa una mayor presencia de población de ingresos altos y medios-altos, por los procesos de renovación urbana que se han señalado.

Respecto a las zonas de media densidad, en las tres comunas presentan una composición social semejante, existiendo una mayor presencia de población perteneciente a los grupos de ingresos medios y medios-bajos (C3 y D respectivamente) y una menor de los grupos de ingresos bajos (E) y altos (ABC1).

De este modo, los climas urbanos, caracterizados por la distribución de las temperaturas superficiales de verano, se corresponden directamente con la construcción social de espacios y lugares, en la medida en que cada una de las zonas identificadas posee una composición socioeconómica que le es propia y, que por tanto, estaría ratificando la necesidad de considerar las dimensiones sociales en los estudios climáticos.

Finalmente, existe una falta de simultaneidad en los datos climáticos y socioeconómicos, debido a que el último Censo de Población y Vivienda practicado en Chile corresponde al año 2002. Ello ha impedido dar cuenta de procesos de urbanización más recientes acontecidos en las áreas estudiadas, así como la imposibilidad de abordar iniciativas públicas y privadas que pueden haber alterado el medioambiente los últimos años.

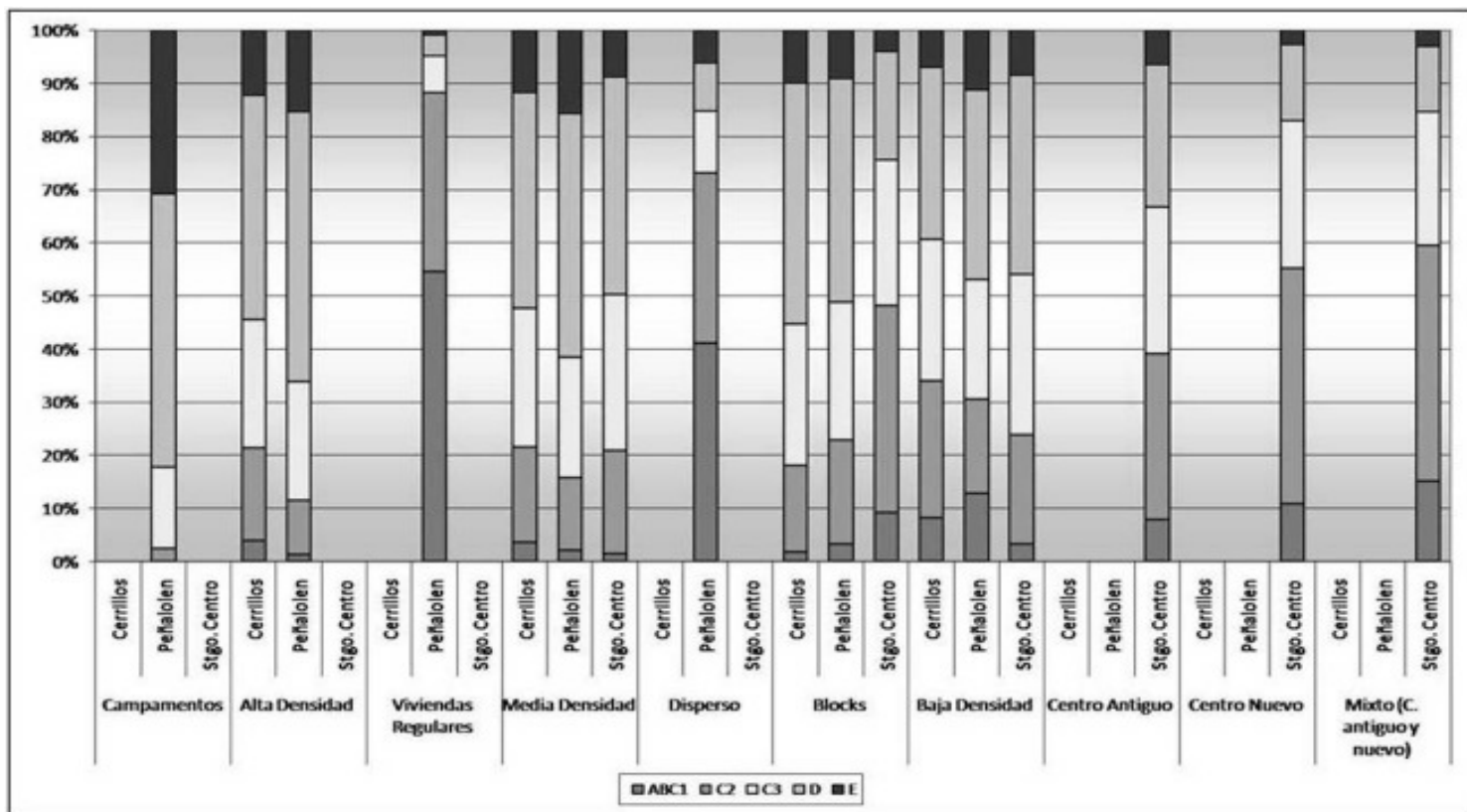


Figura 4 - Composición socioeconómica de las zonas climáticas termales.

CONCLUSIONES

Los cambios climáticos que afectan a las ciudades se deben tanto a la acción de las transformaciones globales como a las producidas por el proceso de urbanización. La urbanización se manifiesta a través de la extensión de las superficies construidas sobre espacios anteriormente rurales, lo que modifica completamente los balances de energía, generando condiciones propicias para la formación de islas y archipiélagos de calor. Las islas de calor urbano deberían aumentar las elevaciones de temperaturas explicadas por el calentamiento global, tornando mayores el stress térmico, la contaminación fotoquímica o las ondas de calor. Sin embargo, la naturaleza de este acoplamiento será diferente en la medida que los diversos barrios de la ciudad presentan el predominio de diferentes paisajes urbanos o zonas climáticas termales. Hay comunas en que una matriz dominada por vegetación o viviendas de baja densidad explican menores acumulaciones de calor, mientras que el centro histórico se caracteriza por una matriz esencialmente urbana ocupada por edificios de altura y por una casi completa ausencia de vegetación. Comunas periféricas como Cerrillos presentan importantes diferencias en sus tipos de coberturas y usos de suelo y por lo tanto, significativas diferencias termales en su interior.

Las zonas climáticas urbanas registran importantes diferencias en sus condiciones termales de superficie. Los bloques de edificios sociales, sin áreas verdes, ubicados al poniente de la ciudad, concentran las acumulaciones de calor, mientras que los condominios cerrados de baja densidad, localizados al oriente, concentran las islas frías. Las áreas residenciales de densidad media registran temperaturas elevadas, lo que también sucede con los edificios del centro nuevo y antiguo. Se puede señalar que en Santiago predominan las islas de calor por sobre las de frío y que éstas últimas parecen quedar restringidas a superficies de plazas y jardines, específicamente localizadas.

Si bien no fueron evaluadas las

temperaturas superficiales y coberturas vegetales de las zonas termales no residenciales, tales como aeropuertos, parques industriales, bodegas, galpones y estacionamientos, sin duda presentan particulares características ambientales que debieran afectar las condiciones climáticas de las áreas residenciales adyacentes, especialmente en la comuna de Cerrillos.

Por otro lado, aunque es posible reconocer niveles generales de segregación social entre las comunas, es la diversidad y heterogeneidad socioambiental lo que predomina en la ciudad de Santiago. Ello hace más compleja la evaluación de las condiciones climáticas urbanas y complica la formulación de planes de gestión destinados a mitigar y adaptar los espacios urbanos a los cambios climáticos. Sin embargo, es claro que se deben formular políticas públicas e implementar inversiones destinadas a mitigar los efectos de los cambios climáticos en los barrios que registran las más altas temperaturas y que se asocian a construcciones de viviendas sociales. Cómo al mismo tiempo se ubican en sectores más afectados por la contaminación atmosférica, la construcción de equipamientos urbanos, amenidades y áreas verdes es un asunto de justicia ambiental.

Quedan pendientes, dado el carácter exploratorio de esta investigación, el abordaje de nuevas dimensiones sociales que incluyan indicadores de pobreza y vulnerabilidad ante las desigualdades climáticas, además, de explorar las dimensiones estudiadas en otras comunas de la ciudad de Santiago.

BIBLIOGRAFÍA

ADIMARK. Mapa socioeconómico de Chile. Nivel socioeconómico de los hogares del país basados en datos del censo. Chile, 2004

BARROS, V. R. El cambio climático global. ¿Cuántas catástrofes antes de actuar? En BARROS, V. R. (Eds.). pp. 174, 2006.

BENISTON, M. y STEPHENSON, D. Extrem climatic events and their evolution under changing climatic conditions. Global and

Planetary Change, 44, pp. 1-9, 2004.

BRABSON, B. B. y PALUTIKOF, J. P. The evolution of extreme temperatures in the Central England temperature record. Geophysical Research Letters 29(24), pp. 2163. 2002.

DGF. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final. Santiago: Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. 2006

DE LA MAZA, C., HERNÁNDEZ, J., BOWN, H., RODRIGUEZ, M., ESCOBEDO, F. Vegetation diversity in the Santiago de Chile urban ecosystem. Arboricultural Journal 26: 347-357p, 2002.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. Landscape and Urban Planning 48, 31 - 44, 1999.

ESCOBEDO, F., NOWAK, D., WAGNER, J., DE LA MAZA, C., RODRIGUEZ, M., CRANE, D. AND HERNANDEZ, J. The socioeconomics and management of Santiago de Chile's public urban forests. Urban Forestry & Urban Greening 4: 105 - 114 p., 2006

FOUNDA, D. y GIANNAKOPOULOS, C. The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece - A typical summer in the future climate? Global and planetary change, 67, pp. 227- 236., 2009.

FUJIBE, F. Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan. International Journal of Climatology. Página web: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1822>. doi:10.1002/joc.1822. 2008

HENRÍQUEZ, C., AZÓCAR, G. y SANHUEZA, R. Determinación de la Isla de Calor en la Ciudad de Chillán y Chillán Viejo. Revista Geográfica de Chile Terra Australis, 47, pp. 65- 73., 2002

HONJO, T.; NARITA, K.I.; SUGAWARA, H.; MIKAMI, T.; KIMURA, K. and KUWATA, N. Observation of cool island effects in urban park (Shinjuku Gyoen). XV International Conference on Urban Climates, Warsaw, Sept.

1- 5. Poland, 2003.

IPCC. Cambio climático 2007: La base científica física. Contribución del Grupo de Trabajo I del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ed Salomón S, et al. Cambridge, Reino Unido, Cambridge Univ. Press. 2007.

KATZ, R. W. y BROWN, B. G. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21, pp. 289-302., 1992.

MAGRIN, G., GARCÍA, C. G., CHOQUE, D. C., GIMÉNEZ, J. C., MORENO, A. R., NAGY, G. J., NOBRE, C. y VILLAMIZAR, A. Latin America. En: PARRY, M. L., O. F. CANZIANI, J. P. PALUTIKOF, P. J. V. D. LINDEN & C. E. HANSON (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 581-615). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

MATZARAKIS, A. y MAYER, H. The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmospheric Environment Part B*, 25, pp. 203-211., 1991.

MEEHL, G. A., ZWIERS, F., EVANS, J., KNUTSON, T., MEARN, L. y WHETTON, P. Trends in extreme weather and climate events: issues related to modelling extremes in projection of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, pp. 427-436., 2000.

MOLINA, M., ROMERO, H. Y SARRICOLEA, P. Características socio ambientales de la expansión urbana de las Áreas metropolitanas de Santiago y Valparaíso. CD de resúmenes Coloquio Del País Urbano a País Metropolitano. Pontificia Universidad Católica de Chile., 2007.

MORENO, M. Estudio del clima urbano de Barcelona: la "isla de calor". Universidad de Barcelona, Barcelona, 1993

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates* (Segunda Edición ed.). London: Routledge, 1987.

OKE, T. R. The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. En: CERMARK, J., A. DAVENPOR, E. PLATE & D. VIEGAS (Eds.), *Wind Climates in Cities* (pp. 81-107). Waldbronn: Kluwer Academic Publishers, 1995.

OKE, T. R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19(11), pp. 2085-2104., 1998.

PAULEIT, S. y DUHME, F. Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 52, pp. 1-20., 2000.

PAULEIT, S., GOLDING, Y. y HANDLEY, J. Methods and models to predict the environmental consequences of urban land use and land cover dynamics a study in Merseyside, UK. Paper presented at the International Conference 'Framing Land Use Dynamics', 2003.

PEÑA, M. Relationships between remotely sensed surface parameters associated with the urban heat sink formation in Santiago, Chile. *International Journal of Remote Sensing*, 29(15), pp. 4385-4404., 2008.

PIZARRO, R. The mitigation/adaptation conundrum in planning for climate change and human settlements: Introducción. *Habitat International*, 33, pp. 227-229, 2009.

ROHINTON, E. Urban Heat Island & Cooling Load: The case of an Equatorial City. *Architecture, Energy & Environment*, 16(8), pp. 1-16, 1999.

ROMERO, H., RIVERA, A., SALAZAR, P., IHL, M. y AZOCAR, P. Topoclimatología de cuencas, Urbanización y Contaminación Atmosférica de Santiago. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 41, pp. 69-110, 1996.

ROMERO, H., TOLEDO, X., ORDENES, F. y VÁSQUEZ, A. *Ecología urbana y gestión*

sustentable de las ciudades intermedias chilenas. *Ambiente y Desarrollo*, 17(4), pp. 45-51, 2001.

ROMERO, H.; MOLINA, M.; MOSCOSO, C. y SMITH, P. Cambios de usos y coberturas de los suelos asociados a la urbanización de las metrópolis chilenas. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*: 194-198, 2006.

ROMERO, H. Y MENDONCA, M. Ondas de Frío registradas en invierno de 2010: Necesidad de una perspectiva regional integrada para la Climatología latinoamericana. Ponencia presentada al XIII Encuentro de Geógrafos de América Latina, San José de Costa Rica, julio de 2011.

ROTH, M., OKE, T. R. y EMERY, W. J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 1699-1720, 1989.

SAAVEDRA, C. y BUDD, W. Climate change and environmental planning: Working to build community resilience and adaptive capacity in Washington State, USA. *Habitat International*, 33, pp. 246-252, 2009.

SABATINI, F., WORMALD, G., SIERRALTA, C. Y PETER, P. Segregación residencial en Santiago: tendencias 1992-2002 y efectos vinculados con su escala geográfica. Documento de trabajo nº 37, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales. Santiago, Chile, 2007.

SALGADO, M. Segregación socioambiental en la comuna de Peñalolén, Santiago de Chile. Tesis presentada al Departamento de Posgrado y Postítulo, Programa Interfacultades de la Universidad de Chile para optar al título de Magíster en Planificación y Gestión Ambiental. Santiago, Chile, 2010.

SCHÄR, C., VIDALE, P., LÜTHI, D., FREI, C., HABERLI, C., LINIGER, M. A. y APPENZELLER, C. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427, pp. 332-336, 2004.

- SIERRALTA, C. Efectos de la segregación residencial socioeconómica en los jóvenes de extracción popular en Santiago de Chile (1992-2002). Tesis presentada al Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al Grado Académico de Magíster en Desarrollo Urbano. Santiago, Chile, 2008.
- STEWART, I.D. and OKE, T. Classifying urban climate field sites by "local climate zones": The case of Nagano, Japan. IN: Preprint, Seventh International Conference on Urban Climate, 29 June -3 July, Yokohama, 2009.
- STONE, B. Urban and rural temperature trends in proximity to large US cities: 1951-2000. *International Journal of Climatology*, 27(13), pp. 1801-1807, 2007.
- VÁSQUEZ, A. y SALGADO, M. Desigualdades socioeconómicas y distribución inequitativa de los riesgos ambientales en las comunas de Peñalolén y San Pedro de la Paz. Una perspectiva de justicia ambiental. *Revista Norte Grande*, N° 43, 95-110p, 2009.
- VÁSQUEZ. Vegetación urbana y desigualdades socioeconómicas en la comuna de Peñalolén, Santiago de Chile. Una perspectiva de justicia ambiental. Tesis presentada al Departamento de Posgrado y Postítulo, Programa Interfacultades de la Universidad de Chile para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Chile, 2008.
- VOOGT, J. A. y OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 370-384, 2003.
- WITHFORD W., ENNOS A. and HANDLEY J. 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, 2001.
- WHITFORD, V. Ecological indicators for assessment of urban development. Unpublished M.Sc., University of Manchester, Manchester.1998