

# RELACIÓN ESPACIAL ENTRE TIPOS DE USOS Y COBERTURAS DE SUELOS E ISLAS DE CALOR EN SANTIAGO DE CHILE<sup>1</sup>

## Hugo Romero

Geógrafo, Universidad de Chile; Doctor en Geografía y Ordenamiento del Territorio, Universidad de Zaragoza. Departamento de Geografía, Universidad de Chile. Laboratorio de Medioambiente y Territorio.

## Melandra Molina

Licenciada en Geografía, Universidad de Chile. Departamento de Geografía, Universidad de Chile. Laboratorio de Medioambiente y Territorio.

**Dirección (1):** Avenida Portugal 84 – Comuna de Santiago, Región Metropolitana- Chile - Tel.: (02) 798-3107- e-mail: hromero@uchile.cl

## RESUMEN

El clima urbano es un componente fundamental de la calidad de vida de las ciudades. Las islas de calor implican una degradación ambiental que influye en el comportamiento de la contaminación atmosférica y en la pérdida de confort térmico de los espacios urbanos. La ciudad de Santiago presenta islas de calor no-urbanas a las primeras horas del día en la estación de verano, que se van transformando en islas de calor urbanas en la tarde y noche. La distribución de éstas depende de los usos y cobertura de los suelos y al interior de éstos, de la presencia de vegetación y áreas impermeabilizadas. Ambos factores están relacionados con la planificación y gestión de los espacios urbanos.

**PALABRAS CLAVE:** islas de calor urbano, usos y coberturas de suelos, superficies impermeables, vegetación urbana.

## Abstract

Urban Climate is a fundamental component of cities's life quality. The urban Heat Islands impla an environment degradation wich influences the behavior of the atmospheric pollution and the loss of thermal comfort of the urban spaces. Santiago City presents Non-urban heat islands at the first hours of the day in summer station, wich transforms in urban islands of heat in the evening and night. The distributions of these depends on the land cobres and land use, and in the interior of these, depends on the presence of vegetation and impervious areas. Both Factors are related with the planning and management of the urban spaces.

Keywords: Urban heat islands, Land Uses/Cover, impervious surfaces, urban vegetation.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de vida de las ciudades es un tema de creciente importancia, en particular en Chile, donde cerca del 90% de su población reside en áreas urbanas. La calidad de vida en las ciudades se expresa a través de atributos ambientales, que, entre otros efectos, deben generar un adecuado clima urbano. Las islas de calor son consideradas como indicadores de degradación ambiental tanto a escala local como global, en la medida que participan en la

---

<sup>1</sup> Proyecto Fondecyt 1050423

producción de condiciones adversas para la salud de la población y de los ecosistemas, como en los procesos de Calentamiento Global. Las islas de calor resultan de la sustitución de usos y coberturas de suelos naturales por superficies urbanas, capaces de absorber, almacenar y emitir mayor calor que las áreas rurales que circundan a las ciudades (PICKETT *et al.*, 2001; WITHFORD *et al.*, 2001). Las islas de calor urbanas contribuyen a generar contaminantes fotoquímicos, zonas de convergencia de aire contaminado y disconfort térmico, especialmente durante los días de verano y sobre las áreas con mayor edificación, menor vegetación y más altas tasas de impermeabilización. El crecimiento urbano incontrolado que caracteriza a Santiago de Chile ha significado la duplicación de su superficie construida durante los últimos treinta años y el reemplazo de cubiertas agrícolas y de vegetación natural por superficies construidas heterogéneas en cuanto a densidad, diseño y presencia de áreas verdes, han generado un complejo patrón espacial y temporal de las islas de calor urbano, que este artículo contribuye a comprender.

El principal objetivo de esta investigación fue determinar los efectos diferenciales de los tipos de usos, densidades y diseños urbanos, característicos de la expansión urbana experimentada por el Área Metropolitana de Santiago (AMS) entre 1989 y 2007, sobre la generación, extensión y evolución de las micro-islas de calor, para lo cual fue necesario en una primera instancia caracterizar el clima urbano presente en la ciudad de Santiago, identificar la relación existente entre los usos clásicos del suelo y la distribución de temperaturas atmosféricas al interior de la ciudad y finalmente caracterizar los usos y diseños urbanos presentes en las áreas de expansión de la ciudad de Santiago a partir de parámetros espaciales tales como cobertura vegetal, porcentaje de impermeabilización del suelo y rugosidad de construcción para de esta forma identificar cuáles de estos factores asociados a los usos y parámetros de urbanización son determinantes en la presencia y comportamiento de las micro-islas de calor.

## **METODOLOGÍA**

Se realizó un análisis de la evolución del comportamiento diario y estacional de la temperatura atmosférica en la ciudad de Santiago, con datos obtenidos mediante transectos de medición durante el periodo de verano. Se llevó también a cabo la caracterización de los usos y coberturas de suelo de la ciudad a partir de la fotointerpretación de una imagen satelital Landsat TM del año 2004 y fotografías aéreas. Las variables de porcentaje de vegetación e impermeabilidad del suelo fueron obtenidas mediante una clasificación supervisada a escala de subpíxeles. Finalmente se establecieron relaciones espaciales entre usos y coberturas del suelo, vegetación urbana e impermeabilidad y temperatura atmosférica de Santiago, a partir de variados módulos de sistemas de información geográfica (Arcgis 9.1, Idrisi Kilimanjaro y SPSS).

## **RESULTADOS**

### **Crecimiento urbano de Santiago**

Desde aproximadamente tres décadas, Santiago ha experimentado un explosivo incremento de su superficie urbana, la cual ha aumentado en casi 30 mil hectáreas: desde 34 mil en el año 75 a más de 65 mil para el 2005 (ROMERO *et al.*, 2006). Los usos urbanos que se han desarrollado con mayor intensidad corresponden al industrial, y a urbanizaciones de alta y baja densidad.

Tales usos han sustituido espacios que anteriormente mantenían coberturas naturales tales como espacios abiertos, vegetación densa y dispersa y aquellos que poseían coberturas seminaturales, como lo son los cultivos. La urbanización de alta densidad, en conjunto con aquella de alta densidad y el uso industrial, son los que dominan en el proceso de pérdida de suelos agrícolas.

El cambio de coberturas naturales por espacios construidos ha generado una serie de impactos sobre el medio ambiente de la ciudad (PICKETT *et al.*, 2001; WITHFORD *et al.*, 2001). Uno de los principales corresponde a los cambios y desequilibrios sobre el clima urbano (ROMERO Y SARRICOLEA, 2006) y la creación de islas y micro islas (a una escala más local) de calor urbanas. La pérdida de espacios naturales y particularmente de zonas vegetadas produce un impacto negativo sobre la regulación de la temperatura atmosférica en la ciudad, aumentando las temperaturas al interior de ésta a medida que transcurren las horas del día. Estos impactos se hacen aun más pronunciados a medida que la ciudad se sigue expandiendo de manera desmedida, bajo ninguna planificación que apunte fuertemente al cuidado del medio en el que se inserta la ciudad.

Actualmente es posible observar al interior de la ciudad un verdadero mosaico urbano, en donde predominan usos de altas densidades al interior del área urbana y cultivos principalmente fuera de este límite, mientras que las coberturas inminentemente naturales se remiten casi exclusivamente al piedemonte andino.

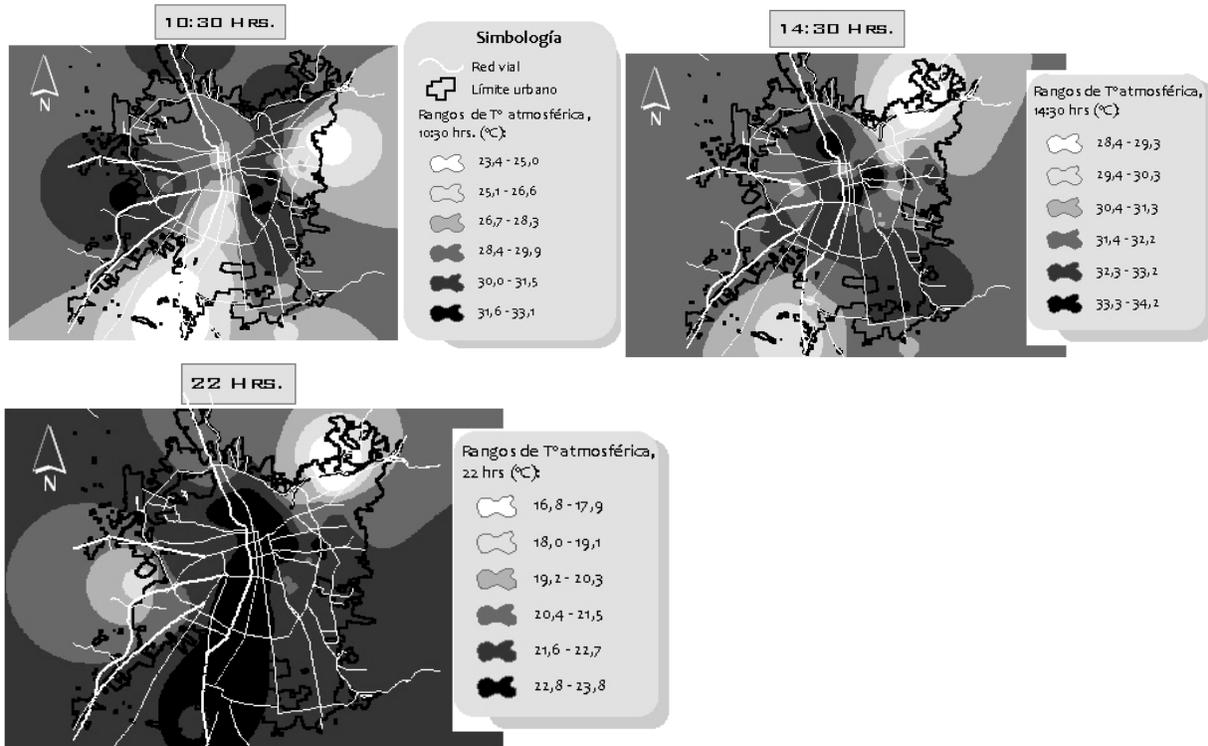
Dadas las tendencias observadas y las políticas públicas implementadas el último tiempo, los usos urbanos deberían continuar sustituyendo lo restantes usos y coberturas de los suelos en el Área Metropolitana de Santiago, por ende, los desequilibrios climáticos al interior de la ciudad se deberían ir acentuando y de esta forma también los impactos directos e indirectos que este desequilibrio acarrea.

### **Caracterización del clima urbano de la ciudad de Santiago**

Durante la mañana del verano es posible observar temperaturas atmosféricas más elevadas en zonas periféricas de la ciudad, correspondientes a islas de calor no urbanas (Peña y Romero, 2006), como también en zonas rurales (Figura 1). Lo anterior se debe a que los paisajes de coberturas naturales y a la naturaleza geológica de los suelos, logran reflejar, absorber y emitir de una manera más rápida la energía solar incidente. Como consecuencia, las zonas de altas temperaturas del aire (28 a 33 °C) se localizan al exterior del límite urbano, principalmente en la zona norponiente, en las comunas de Quilicura, Colina, Pudahuel y Maipú. Hacia el sur de la ciudad (comunidades de San Bernardo y Calera de Tango) se mantienen temperaturas frías (entre los 23 y 26 °C), las cuales se extienden progresivamente hacia el centro de la ciudad a través de la única cobertura de suelos casi sin intervención urbana que conecta al centro de la ciudad con la periferia: El Cono de Aproximación del Aeropuerto de Cerrillos, próximo a desaparecer. El resto de la ciudad, principalmente aquellas zonas más cercanas al Centro Histórico, permanecen aún con una temperatura moderada, entre 25 y 26°C.

La distribución espacial de las temperaturas de la ciudad de Santiago en verano, comienza a cambiar a medida que transcurren las horas del día, como puede ser apreciado en el segundo esquema presentado en la Figura 1: Al mediodía, la ciudad presenta temperaturas más altas que su entorno rural y los núcleos más cálidos se concentran principalmente en áreas urbanas muy cercanas al CBD, lo que corresponde a la distribución típica de la Isla de Calor Urbano.

**Figura 1:** Evolución diaria del comportamiento de las temperaturas atmosféricas del Gran Santiago. Febrero, 2007.



Es posible determinar también que para este momento del día el panorama térmico del área metropolitana de Santiago es relativamente homogéneo, ya que se pueden encontrar temperaturas altas tanto en las zonas rurales como en aquellas urbanas. Mientras que las áreas naturales se encuentran en un proceso de pérdida de temperatura, el área construida comienza a entibiar la atmósfera, llegando a igualar las temperaturas no urbanas.

Finalmente, durante la noche de verano, es cuando se puede evidenciar de mejor forma la presencia de dicha Isla de Calor Urbana de la ciudad de Santiago. Las superficies urbanas que han recibido y almacenado la energía proveniente de la insolación durante el día, emiten calor hacia la atmósfera. A diferencia de éstas, las zonas donde prevalecen coberturas naturales logran liberar más rápidamente el calor a través de la vegetación, que aquellas zonas urbanas (VALOR *et al.*, 2000)

Las temperaturas más elevadas se localizan mayormente en el CBD de Santiago y se prolongan hacia el sur del centro de la ciudad: hacia San Miguel, La Cisterna y Pedro Aguirre Cerda; mientras que en el norte se prolongan hacia la comuna de Independencia y Recoleta.

Resulta interesante observar como comunas como San Miguel, adyacente al centro de Santiago por el sur, se caracteriza por bajas temperaturas en las horas de la mañana, para pasar a formar parte de la gran isla de calor de la ciudad durante la noche.

En el caso de las temperaturas del aire más bajas, éstas se concentran en el área urbana de Lo Barnechea, zona que registró la temperatura nocturna del aire más baja de la ciudad (16 °C) y en la zona peri urbana de Maipú, en camino a la Farfana (polo frío al poniente de la

ciudad) donde existen paños de cultivos.

Es en este momento del día en donde existe una clara diferencia de temperaturas entre la ciudad y las zonas suburnas y rurales. Las temperaturas se encuentran en una distribución casi perfectamente inversa a la distribución de la mañana.

Finalmente se puede observar que las diferencias térmicas del aire en los distintos puntos de la ciudad para esta hora del día son de aproximadamente  $7^{\circ}\text{C}$ , lo cual deja manifestado nuevamente el dominio de los factores urbanos sobre el comportamiento térmico de la ciudad a una escala metropolitana.

### **Relación entre usos del suelo y temperaturas atmosféricas**

Al interior de la ciudad existe una variación espacial de las temperaturas, asociada directamente con los usos y coberturas de los suelos prevalecientes. El uso urbano de alta densidad presenta menores porcentajes de coberturas con vegetación y mayores superficies impermeabilizadas que las zonas urbanas de baja densidad, o que aquellas áreas que son completamente verdes. Durante la mañana, los usos del suelo propiamente urbanos registran temperaturas más bajas que las zonas naturales, relación que se invierte en la noche.

A las 22 Hrs. todos los usos han perdido temperatura ya que la mayor intensidad térmica ocurre a mediados del día, sin embargo, la mayor expresión de la isla de calor no ocurre solo hasta llegada la noche.

Lo anteriormente planteado queda mejor expresado en las transectas realizadas en Santiago, en donde se determinó cómo durante la mañana la ciudad presenta bajas temperaturas, principalmente en el núcleo urbano o CBD, mientras que las zonas rurales del poniente de la ciudad concentran las más altas temperaturas (salvo el área no urbana del piedemonte andino, que por su posición geográfica en ladera de umbría y bajo porcentaje de visión del cielo, sigue presentando condiciones térmicas de frescor). Sin embargo durante la noche la ciudad de Santiago se manifiesta como una gran isla de calor urbana, en donde los usos urbanos más densos poseen una temperatura atmosférica más elevada que aquellos menos densos.

### **Factores asociados a los tipos urbanos determinantes en la presencia y comportamiento de las micro-islas de calor**

A una escala de mayor especificidad espacial, es posible registrar variaciones significativas de la temperatura al interior de las áreas ocupadas por la urbanización. En el caso de la ciudad de Santiago se ha encontrado una diferencia de hasta dos grados entre las temperaturas promedio de las urbanizaciones de alta y baja densidad, debido a la presencia de mayores porcentajes de vegetación y superficies permeables en éstas últimas, lo que permite una mayor regulación en la transferencia de calor a la atmósfera.

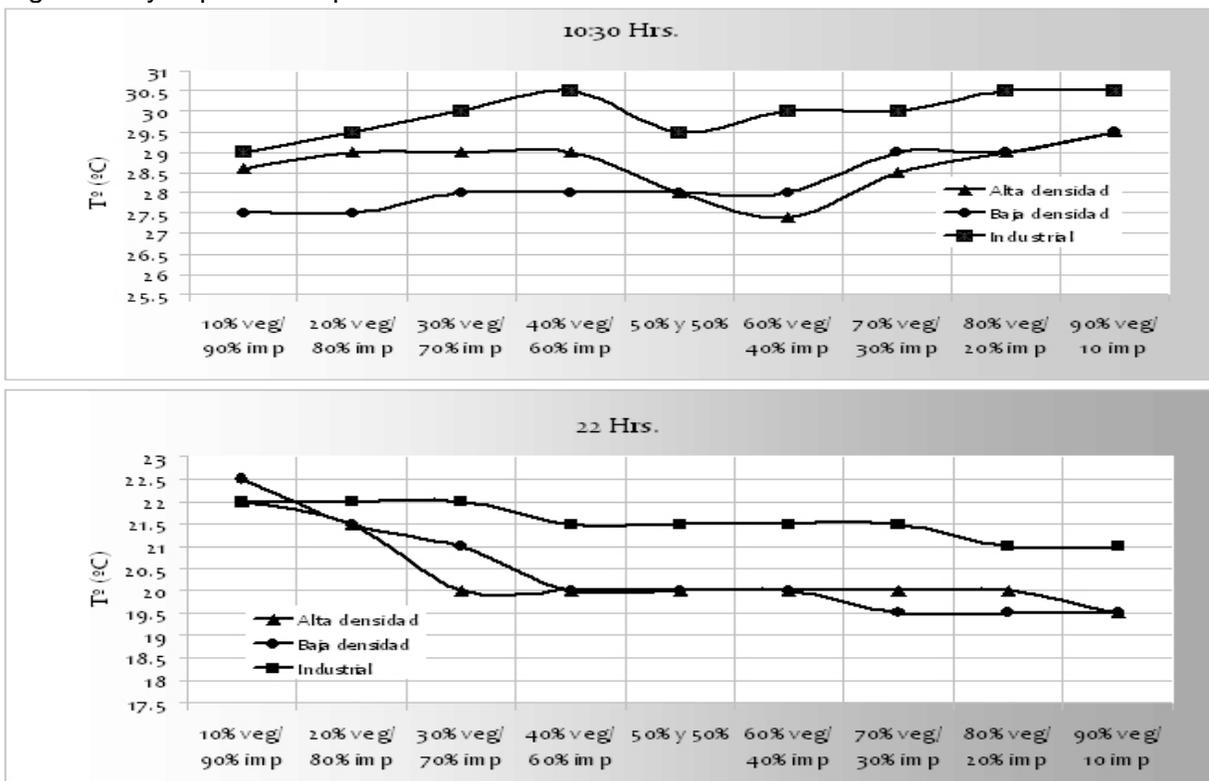
Es posible comprobar lo planteado por HONJO *et al.* (2003) y ELIASSON (1999) en cuanto a la relevancia del rol de la vegetación e impermeabilidad sobre el comportamiento térmico al interior de las ciudades. Ambos factores no sólo controlan la distribución general de las temperaturas, sino que además, logran modificar el comportamiento térmico al interior de un área cubierta por un mismo uso del suelo. Por ejemplo, se localizan al interior de Santiago áreas de alta densidad de urbanización con mayores porcentajes de vegetación que registran temperaturas más bajas. De igual manera, es posible encontrar zonas con alta densidad de

construcciones, cubiertas con menores porcentajes de vegetación y grandes superficies impermeables, que alcanzan las mayores temperaturas al interior de las áreas urbanas. Estas áreas cálidas pueden corresponder también a usos residenciales de baja densidad y usos industriales.

En el caso de la relación existente entre la distribución de porcentajes vegetales en urbanización de baja y alta densidad y temperatura atmosférica, es posible observar que en aquellas zonas en donde se concentran las isotermas de más frías es donde se localizan porcentajes altos de cobertura vegetal por superficie predial (30x 30 mts.), mientras que las zonas con baja cobertura en ambos usos urbanos se encuentran circundadas por isotermas más cálidas. Caso inverso ocurre con los porcentajes de impermeabilidad de ambos usos del suelo: Donde los porcentajes son menores es donde se encuentran las isotermas frías, mientras que en zonas con mayores superficies impermeabilizadas es donde las temperaturas son más altas durante la noche.

Finalmente se puede evidenciar la importancia que tienen la vegetación y la impermeabilidad en el comportamiento térmico de los usos del suelo, ya que ambos parámetros urbanos modifican las temperaturas al interior de un mismo uso. Fue posible encontrar al interior de Santiago áreas de alta densidad de urbanización que al poseer mayores porcentajes de vegetación, presentan menores temperaturas atmosféricas, mientras que existen zonas de alta densidad con menores porcentajes de vegetación y grandes superficies impermeables que son más cálidas. Este panorama se repite tanto para el uso de baja densidad como para el uso industrial, como puede ser observado en la Figura 2.

**Figura 2:** Comportamiento de la temperatura atmosférica al interior de los usos de suelo de alta densidad, baja densidad e industrial, considerando las variaciones de porcentajes de vegetación y superficie impermeabilizada.



En resumen, se comprobó que aquellas zonas más desprovistas de cobertura vegetal y más ampliamente impermeabilizadas, presentan mayores temperaturas, configurando así zonas de micro islas de calor urbanas.

## **CONCLUSIONES**

Las islas de calor no-urbanas se transforman en islas de calor propiamente urbanas a medida que transcurren los días de verano en la ciudad de Santiago. La naturaleza de los usos y coberturas del suelo influyen en gran medida sobre estas variaciones espacio-temporales de las islas de calor. Además, es posible registrar variaciones de temperaturas al interior de un área con un mismo uso del suelo. La impermeabilización de los suelos y la presencia y tipo de coberturas vegetales se constituyen en importantes controles de las islas de calor al interior de la ciudad de Santiago, lo que significa que en su origen y desarrollo alcanzan una alta responsabilidad la planificación y gestión de los espacios urbanos. La calidad ambiental de las ciudades depende de visiones integrales y de políticas públicas que tienen como objetivo explícito conseguir zonificaciones y diseños urbanos específicamente orientados a ello.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ELIASSON I. (1999). The use of climate knowledge in urban planning. Elsevier, Landscape and urban planning N° 48, pág. 31 – 44.
2. HONJO T, NARITA K.I, SUGAWARA H, MIKAMI T, KIMURA K & KUWATA N. (2003). Observation of cool island effect in urban park (Shinjuku Gyoen). XV Internacional Conference on Urban Climates, Varsow, Poland, Sept. 1- 5. Polonia.
3. PICKETT S., CADENASSO M., GROVE J. (2001). Urban Ecological Systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of Metropolitan Areas. Annu. Rev. Ecol. Syst. . N° 32, pp. 127–57.
4. ROMERO H., SARRICOLEA P., 2006. Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie. Clima, Sociedad y Medio Ambiente: V Congreso de la Asociación Española de Climatología, Sept. 18 – 21, Zaragoza, España.
5. ROMERO H., MOLINA M., MOSCOSO C., SMITH P., 2006. Cambios de usos y coberturas de los suelos asociados a la urbanización de las metrópolis chilenas. El aporte de la Geografía en la superación de los desequilibrios territoriales y sociales: XXVII Congreso Nacional y XX Internacional de Geografía. Oct. 17 – 20, Concepción, Chile.
6. VALOR E., CASELLES V., COLL C., SÁNCHEZ E., RUBIO E., SOSPEDRA F. (2000). Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST y AVHRR. Revista de la Asociación Española de Teledetección, N° 15 pp
7. 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. Landscape and Urban Planning N° 57 pp. 91-103.