



## MEDICIÓN DEL EFECTO ISLA CALOR EN SANTIAGO DE CHILE

**Guillermo Valenzuela (1); Christopher J. Whitman (2)**

(1) Arquitecto, Magistrando en el Magister en Diseño Arquitectónico, [gui.valenzuela@gmail.com](mailto:gui.valenzuela@gmail.com)

(2) B.Arch(Hons), Dip. Arch, RIBA Part III, Coordinador del Laboratorio de Energía e Iluminación, [c.whitman@uandresbello.edu](mailto:c.whitman@uandresbello.edu)

Universidad Andrés Bello, Escuela de Arquitectura, Campus Creativo, Fernández Concha 700, Las Condes, Santiago de Chile, Chile Tel.: (56) 2 2661 8792

### RESUMEN

La urbanización sin la previa comprensión de los requerimientos naturales y las lógicas de diseño que cada lugar requiere en función de sus condiciones climáticas, como por ejemplo la temperatura, los vientos, la humedad relativa y la nubosidad, ha sido uno de los factores fundamentales de la alteración ambiental de las ciudades. El fenómeno anteriormente mencionado conlleva a espacios públicos ambientalmente incómodos, en base al aumento de la temperatura ambiente, la que a su vez eleva la temperatura de edificios, lo que conduce al aumento en la utilización del sistema de aire acondicionado. Esto sumado al cambio climático empeora la situación de malestar en las ciudades que junto a la contaminación atmosférica está poniendo en riesgo la salud de sus habitantes. La investigación presentada en este artículo desarrolla el fenómeno conocido como Efecto de Isla de Calor Urbana, el cual se manifiesta como consecuencia de la urbanización de los espacios rurales llevada a cabo sin la consideración del contexto climático regional, generando microclimas en el interior de una misma zona geográfica. El objetivo de la investigación es verificar la existencia del efecto isla de calor en la ciudad de Santiago de Chile. La metodología utilizada se divide en tres escalas de análisis; El primero, una visión general, ha sido comparar la temperatura de bulbo seco del aire de estaciones meteorológicas ubicadas en distintas comunas de la ciudad, durante un periodo de 30 días, confrontándolas con una estación meteorológica adyacente a la ciudad ubicada en una zona semi-rural. El segundo, levantando datos de zonas específicas, consta en medir la temperatura de bulbo seco del ambiente en diversos espacios públicos constituidos en la ciudad para posteriormente compararla con la estación meteorológica ubicada en una zona semi-rural de la misma región. Posteriormente se realiza una selección de 3 espacios públicos de los estudiados, la elección se basa en criterios medioambientales, configuración de espacios y diseño urbano, en función de realizar estudios acuciosos e incorporar una mayor cantidad de variables en cada uno de los sectores. La investigación muestra que Santiago de Chile experimenta el efecto isla de calor con una diferencia promedio de 3°C entre sus comunas urbanas y semi-rural. El estudio de los espacios públicos muestra que en algunos casos esta diferencia puede llegar de 8°C a 10°C. Es necesario establecer criterios para lograr un óptimo confort térmico en las ciudades con el objetivo de evitar que sean inhabitables en el futuro.

Palabras clave: Confort térmico urbano, efecto isla de calor, espacios públicos urbanos.

### ABSTRACT

Urbanization without prior understanding of the natural requirements and the design logic that each specific place requires regarding its climatic conditions, for example temperature, winds, relative humidity and cloud cover, have been one of the fundamental factors influencing environmental changes in the city. This phenomenon leads to uncomfortable public spaces, due to the rise in air temperature, which in turn increases the internal air temperature of the surrounding buildings, giving rise to an increase in the use of air-conditioning systems. When added to the effects of climate change this exacerbates the discomfort in the cities, which together with airborne pollution is putting the health of the cities inhabitants at risk. The research presented in this paper investigates the Urban Heat Island Effect, which results from the urbanization of rural areas without consideration of the regional climatic context, creating microclimates within the same geographic zone. The objective of the research is to confirm the existence of the Urban Heat Island Effect in the city of Santiago de Chile. The methodology used consists of three scales of analysis. The

first, a general overview, has been to compare the dry bulb air temperature of weather stations located in different districts of the city over a period of 30 days, comparing them with a weather station located in an adjacent semi-rural location. The second collecting data from specific zones consists of dry bulb temperature measurements in various public spaces within the city, comparing these again with the semi rural location. Finally 3 squares were selected from those studied, the selection being based on microclimatic criteria, spatial configuration and urban design, in order realise a detailed study incorporating the maximum number of variables possible in each sector. The research shows that Santiago de Chile experiences the effects of the Urban Heat Island with on average a difference of 3°C difference between its urban and semi-rural districts. The study of public spaces shows that in some cases this difference can increase to between 8-10°C. It is therefore necessary to establish criteria to achieve thermal comfort in cities in order to avoid them being uninhabitable in the future.

Key words: Urban thermal comfort, urban heat island effect, urban public spaces.

## 1. INTRODUCCION

Según el censo de 2012 la Región Metropolitana de Santiago de Chile posee una población total de 6.683.852 [INE, 2012] de habitantes, esto corresponderá a un 40,3 % [INE, 2012] de la población total del país, contenida solo en una región. La densidad de población en el país tiene a la Región Metropolitana con 433,9 hab/km<sup>2</sup> [INE, 2012], cuadruplicando las cifras de su sucesor Valparaíso con 105,1 hab/km<sup>2</sup> [INE, 2012], posteriormente encontramos a la Región del Bío Bío con 53,02 hab/km<sup>2</sup> [INE, 2012]. Estas cifras nos revelan la densidad urbana de la Región Metropolitana, acentuada en Santiago, ciudad capital del país y el polo de desarrollo económico más importante. Las cifras anteriormente comentadas conllevan a un alto crecimiento de la ciudad en cuanto a viviendas, edificios comerciales, institucionales, calles y avenidas estos factores han producido una expansión descontrolada de Santiago proporcionando graves problemas de desplazamiento en el interior de la ciudad, finalmente esta situación se ha resuelto con autopistas, automóviles y un sistema de transporte urbano que no satisface a los usuarios en relación al anterior.

La suma de las variables anteriormente mencionadas ha generado una diversidad de sectores urbanos, los terrenos naturales han ido mutando a suelos, edificios, casas y autopistas. Estos factores han generado variados tipos de climas en el interior de la ciudad, también denominados microclimas urbanos, concepto que nace de la comparación de los distintos climas de la ciudad en relación con el clima rural perteneciente a la misma región e incluso la misma ciudad.

La temperatura aumenta en ciudades densamente pobladas y construidas, esto conlleva a problemas de confort ambiental tanto en espacios públicos como en el interior de edificios y viviendas, aumentando la necesidad de refrigeración en espacios interiores en periodos calurosos. Por lo tanto se hace indispensable controlar las situaciones externas en función de disminuir los gases de efecto invernadero y habitar espacios tanto externos como internos que sean eficientes en términos energéticos.

Los microclimas urbanos son conocidos con el nombre de Efecto de Isla de Calor, el cual es causado por factores propios de una ciudad tales como, el reemplazo de superficie vegetal permeable por calles y avenidas urbanizadas de condición impermeable, específicamente superficies constructivas con materiales cuyas propiedades térmicas favorecen a la generación de este efecto y que por lo tanto no hemos sido capaces de comprender y aplicar lógicamente sus propiedades térmicas, tales como la reflectividad, absorción e inercia térmica, otro de los factores es el calentamiento que generan las industrias, edificios y automóviles que a su vez generan contaminación atmosférica, por otro lado la dimensión, orientación y distribución de las calles es otro factor que influye en el efecto en estudio. En conjunto con esto la morfología urbana incide directamente en la atmosfera de los espacios públicos, la densidad de edificios en altura, las conductas antropogénicas del ser humano y finalmente todas las variables del medioambiente muchas veces alteradas por los factores descritos anteriormente, tales como la dirección y velocidad de los vientos, la presión atmosférica, la temperatura, la humedad relativa, la inversión térmica y la radiación solar.

La función que cumplen las áreas verdes como factor de mitigación del efecto de isla de calor es fundamental, ya que los arboles brindan sombras en los espacios expuestos a la radiación solar directa, también consumen el calor latente mediante el proceso denominado evapotranspiración. Existe la posibilidad de manejar y conducir las corrientes frescas de aire mediante ejes urbanos arbolados, lo que directamente ayuda a reducir la temperatura ambiente de una determinada zona, los parques y plazas con vegetación ayudan a mejorar el confort ambiental en las ciudades, para lograr este objetivo, es necesaria la previa planificación territorial y la articulación mediante espacios verdes de zonas con mayor densidad de elementos construidos. (ROMERO et al, 2010)

La investigación plantea el desarrollo del fenómeno en el transcurso del día, estableciendo que la isla de calor posee su valor más alto pocas horas después de la puesta de sol, durante el día el fenómeno es bajo e incluso puede llegar a ser negativo (TUMINI, 2010), pasando el medio día comienzan a formarse las primeras micro islas y finalmente estas pueden alcanzar una diferencia promedio de 2°C de temperatura de aire entre viviendas de alta y baja densidad, como consecuencia de la diferencia entre la superficie de áreas verdes y las construidas.

El descontrolado y no planificado crecimiento de las ciudades trae como consecuencias principales la excesiva alteración de superficies permeables, el aumento de la temperatura por hidrocarburos orgánicos reactivos provenientes de automóviles que aceleran la formación del smog, a su vez estos factores aumentan la temperatura local y la posterior generación de microclimas urbanos ocasionando problemas de confort ambiental en espacios exteriores que a la vez inciden directamente en los espacios interiores, lo que conlleva al aumento del consumo del sistema de aire acondicionado y finalmente acelera el proceso conocido como el cambio climático.

Algunas de las medidas que permiten mitigar el fenómeno son la utilización de impermeabilizantes blancos para techos, la utilización de pavimentos que produzcan altos albedos con agregados blancos, promover el uso y la revitalización de los espacios exteriores, establecer una planificación territorial en función de los conceptos de eficiencia energética, uso y morfología de los espacios (TUMINI, 2010).

## **2. OBJETIVO**

El objetivo de la investigación presentada en este artículo es comprobar la existencia del efecto de isla de calor en la ciudad de Santiago de Chile y determinar en que zonas se concentra mayoritariamente para posteriormente establecer una lógica entre estos índices de temperatura, otros factores meteorológicos y el diseño urbano. Con el fin de encontrar alteraciones climáticas en diferentes áreas de la ciudad mediante metodologías climáticas urbanas, se comparan y analizan datos de temperatura ambiente en distintas zonas urbanas de la capital, tales como Quilicura, Santiago, Maipú, Las Condes y El Bosque, en relación a otra estación de monitoreo ubicada en la comuna semi-rural de Talagante.

Por otro lado se realizan análisis de temperatura de bulbo seco del ambiente en espacios públicos urbanos mediante recorridos en las comunas de Santiago y Providencia. Esto permitirá definir las características de diseño urbano que proporcionan la generación del efecto de isla de calor, en relación a materiales utilizados en las distintas superficies, la vegetación y el entorno edificado.

## **3. METODOLOGÍA**

El estudio se enfoca en la comparación de los valores de temperatura en distintos espacios públicos de la ciudad en función del diseño arquitectónico y urbano. Para esto se realizan 3 escalas de análisis; el primero sobre zonas extensas con estaciones meteorológicas preestablecidas correspondientes a el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire [SINCA, 2012] y a equipos instalados correspondientes a la marca La Crosse Technology, de las cuales se recopilan antecedentes climáticos vitales para estudiar el efecto de isla de calor en la ciudad, mediante datos de temperatura de bulbo seco del ambiente. Los índices climáticos tienen un intervalo de 1 hora y serán comparados en un periodo de 4 semanas a principios del verano, para posteriormente ser estudiados y analizados. En este caso las áreas de estudio pertenecen a las comunas de Quilicura, ubicada en el sector norte de la ciudad, Santiago Centro situada en el casco histórico, El Bosque perteneciente al sector sur, Maipú correspondiente al lado suroeste, Las Condes ubicada en el este y finalmente la estación semi-rural de Talagante ubicada al oeste de la ciudad y a continuación de Maipú. Los resultados serán relacionados con las características generales de diseño urbano perteneciente a cada comuna, en relación a edificación, sistema de vialidad, áreas verdes y ubicación dentro de la región.

El segundo análisis consiste en espacios públicos específicos seleccionados por su particular diseño, composición de elementos arquitectónicos, influencia de gente, cantidad de vegetación, superficies permeables e impermeables, relación con infraestructuras viales y superficie expuesta a los rayos solares. Los lugares seleccionados se encuentran divididos en 2 grupos los cuales permitieron generar un recorrido continuo entre estos, el primero, de espacios ubicados entre las comunas de Las Condes y Providencia, comunas desarrolladas después de los años 40 y el segundo en Santiago y Recoleta que han sido urbanizadas desde el siglo 16. El enfoque fue contrastar lugares densamente urbanos con lugares que presentan mixturas entre lo urbano y lo vegetal. En cada uno de los espacios seleccionados se realizaron mediciones el día 7 de noviembre del año 2012, la evaluación consistía en levantar datos de temperatura de bulbo seco del ambiente (°C) con un termómetro digital Fluke 54 y humedad relativa (%HR) con un higrómetro Extech CO250. Posteriormente se elaborara un gráfico con los datos levantados en terreno y estos serán comparados con

datos climáticos de la estación meteorológica de la comuna de Talagante, ubicada en una zona semi-rural. La temperatura de bulbo seco del ambiente es el principal indicador del efecto de isla de calor, por lo tanto este dato será la principal y primera referencia a estudiar, según investigaciones se considera que el fenómeno existe en un determinado lugar cuando su temperatura se encuentra elevada en 3°C o más con respecto de un parámetro semi-rural (CONTRERAS et al, 2008), que es el caso referencial de Talagante.

Finalmente se eligen 3 casos de los anteriormente estudiados, estos son seleccionados tomando en cuenta criterios tales como la temperatura del aire, monitorizada con un termómetro digital Fluke 54, existencia de superficies de agua, presencia de automóviles, porcentaje de superficies permeables e impermeables. Los lugares escogidos son la Plaza de las Flores, inserta en un importante polo comercial de la ciudad y ubicada en la comuna de Providencia, La Plaza Mayorazgo ubicada en la misma comuna pero con características diferentes, ya que se encuentra emplazada en un sector habitacional de baja altura y a los pies del Cerro San Cristóbal, finalmente la Plaza Santa Teresa de los Andes, ubicada en la comuna de Santiago Centro con una importante cantidad de usuarios acentuada en jóvenes escolares. El objetivo de esta tercera etapa es estudiar y analizar estos 3 casos incorporando variables omitidas en los estudios previos, se asociaran factores tales como la temperatura ambiente, dirección y velocidad de los vientos, temperatura de superficies y humedad relativa, en función de relacionar estas características y establecer lógicas morfológicas y de diseño espacial en función del confort térmico existente.

#### 4. RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN DE ZONAS URBANAS

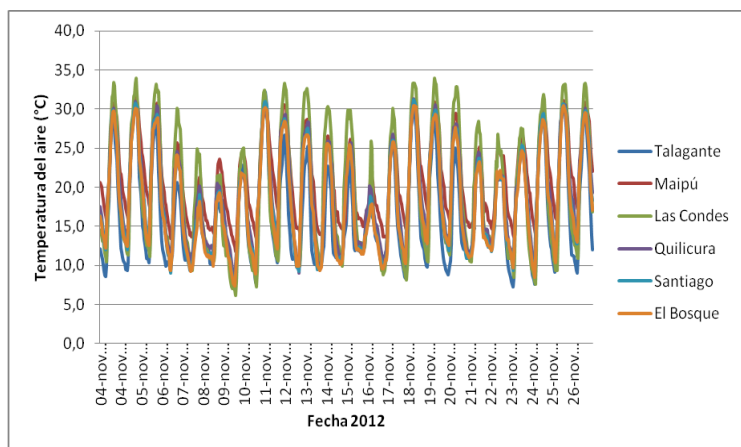


Fig.1. Gráfico de temperatura ambiente de E. Meteorológicas, durante un periodo de 1 mes.

El primer grafico (fig.1) representa las 6 estaciones meteorológicas durante el periodo de 1 mes (noviembre 2012) y el segundo (fig.2) un rango promedio del comportamiento en un periodo de 3 días, se destaca la comuna de Las Condes por elevar su temperatura por sobre el promedio llegando a 33,9°C, 5,6°C más alto que Talagante. Al mismo tiempo llega a disminuir su temperatura tanto como la estación semi-rural, e incluso en algunos días llega a temperaturas inferiores a las de la estación de referencia. La estación meteorológica de Maipú destaca por no disminuir su temperatura al nivel de sus pares por la madrugada el registro de menor temperatura solo alcanza los 11,8°C, 3 grados por sobre las demás estaciones y en cuanto a aumentos de temperatura es la segunda con mayores cifras. En relación a las estaciones meteorológicas de El Bosque, Santiago y Quilicura, podemos apreciar una lógica similar ya que la diferencia promedio es escasa. La que presenta un mayor incremento es la estación de Quilicura. Es relevante que las 3 estaciones presentan un promedio de 3°C por sobre la estación de Talagante.

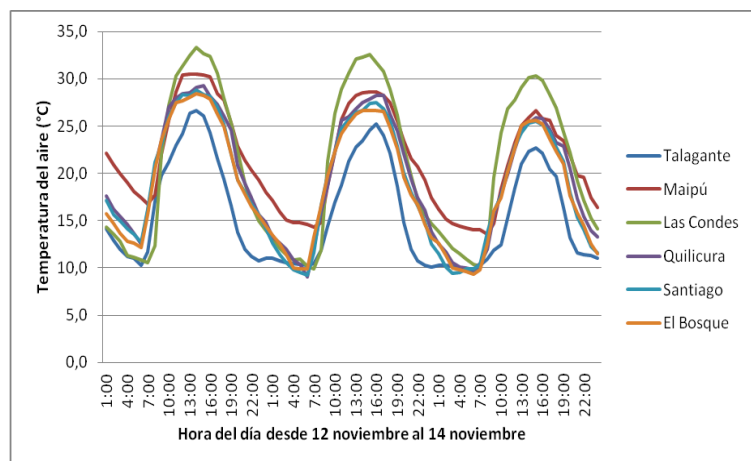


Fig 2 Gráfico de Temperatura ambiente de E. Meteorológicas, durante un periodo de 3 días

##### 4.1. RESULTADOS DE LA MONITORIZACION EN ESPACIOS PUBLICOS

En las tablas 1 a 5 se presentan los resultados en base de los recorridos por las comunas de Las Condes, Providencia (fig.3) y Santiago Centro (fig. 4). La Plaza Perú está 7,4°C por sobre la temperatura semi-rural (tabla.4). La Plaza de las Flores con 9,8°C por sobre la estación y finalmente el espacio público de Lyon con 8,5°C de exceso de temperatura (tabla.4). Por otro lado las temperaturas más bajas se mantienen con un

promedio de 5°C aproximadamente sobre la estación de Talagante, estas solo se dan en lugares distantes en cuanto a urbanización ya que sus configuraciones se basan en el Río Mapocho y por otro lado en el cerro San Cristóbal.

Tablas 1-3. Datos climáticos, correspondientes a la temperatura ambiente de Talagante y escala de colores de temperatura

Hum. Relativa	Hora	Temp. Ambiente	Escala de Color
Talagante (%)		Talagante (°C)	Temp. Amb. (°C)
64,8		SINCA	15
62,2	12:00	19,2	16
60	13:00	20,1	17
61,1	14:00	20,6	18
60,7	15:00	20,2	19
64	16:00	19,9	20
68,8	17:00	18,4	21
74,3	18:00	16,9	22
	19:00	15,2	23
			24
			25
			26
			27
			28
			29
			30

El análisis evidencia las diferencias de temperatura, acentuada en la Plaza Teresa de los Andes (tabla.5) con una temperatura ambiente superior en 10,1°C a las 17:00 hrs. Las temperaturas más bajas se dan en zonas como el borde arborizado de La Plaza de la Constitución, es relevante la diferencia de 3°C que existe en esta plaza en relación a su espacio central. La baja temperatura de la Plaza de la Moneda se puede asociar al espejo de agua existente en ella. El caso de Plaza Alameda es interesante, ya que en ella se dan situaciones que contrastan bastante; arboles, áreas verdes, superficies duras, exceso de automóviles e inclusive una autopista. Es relevante destacar que las temperaturas más bajas en esta zona están en 6°C aproximadamente sobre la temperatura de referencia en Talagante.

Tabla 4. Recorrido en las comunas de Providencia y Las Condes.

	T.Amb. (°C)	T.Dif. (°C)	H. Relativa	Hora
Plza el Golf	26,8	6,2	29,20%	13:39
Plaza Peru	28	7,4	25,6	13:57
P. De Valdivia Norte	25,5	5,1	32%	14:14
Plaza Mayorazgo	26,4	5,8	26,40%	14:23
Cerro S.Cristobal (pies)	25,3	4,7	33,60%	14:29
Rio Mapocho	25,1	4,9	35%	14:38
Plaza Flores	30	9,8	29,60%	15:04
Plaza Hotel Radisson	26,9	6,7	31%	15:16
Esp.Publ. Edif. Off. Industria	28,5	8,3	31,40%	15:25
Esp.Publico Provi/Lyon	28,4	8,5	32,90%	16:08

Tabla 5. Recorridos en la comuna de Santiago Centre

	T.Amb.(°C)	T.Dif.(°C)	H. Relativa	Hora
Patronato Esp. Publico	25	6,6	29%	16:40
Plaza Sta.Teresa de los Andes	28,5	10,1	30%	17:09
Plaza de Armas (S.Poniente)	25,5	8,6	34,10%	17:39
Plaza de Armas (S.Pileta)	25,8	8,9	35,80%	17:43
Plaza Mercado Central	25	8,1	33,30%	18:05
Estacion Mapocho	26,3	9,4	36,90%	18:17
Plaza de la Constitucion	25	9,8	36,40%	18:33
P. De la Const (Perimetro)	22,2	7	41,40%	18:36
Plaza de la Moneda	21,8	6,6	43%	18:43
Plaza Alameda/Autop.Central	21,7	6,5	41%	19:06
Plaza Sazie/Autopista	22,3	7,1	41,50%	19:11



Figura 3. Ubicación de mediciones Providencia y Las Condes



Figura 4. Mediciones Santiago Centro

## 4.2. MONITORIZACION DE PLAZAS SELECCIONADAS

De los espacios públicos monitorizados anteriormente fueron seleccionados 3 casos en función de estudiarlos con mayor profundidad e incorporar una mayor cantidad de variables de medición. En este caso el análisis incorpora mediciones en terreno de temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de superficies y velocidad y dirección de los vientos. La monitorización fue realizada durante 3 días de una semana, martes 12, viernes 15 y domingo 17 de Marzo del año 2013. En cada día se realizaron 3 periodos de mediciones, a las 13:00, 17:00 y 21:00 el martes y a las 12:00, 14:00 y 21:00 el viernes y domingo, en función de comprender las oscilaciones diarias y semanales, entendiéndose que tanto un día como una semana pasan por diferentes etapas térmicas, por lo tanto este análisis nos permitirá reconocer esas variantes. A continuación se

presentan fotos de los espacios estudiados (figuras 5-13) y los resultados de las mediciones de temperatura del aire (figuras 14-19).

#### 4.2.1. Fotos de espacios estudiados.



Figuras 5-7 Pl. Mayorazgo, Providencia. Figuras 8-10 Pl. de las Flores, Providencia. Figuras 11-13 Pl. Sta Teresa de los Andes.  
Fuente Imágenes: vistas aéreas- Google Earth; Vistas laterales y Vista con ojo de pez del autor.

#### 4.2.2. Gráficos de temperatura y humedad relativa en los tres espacios estudiados.

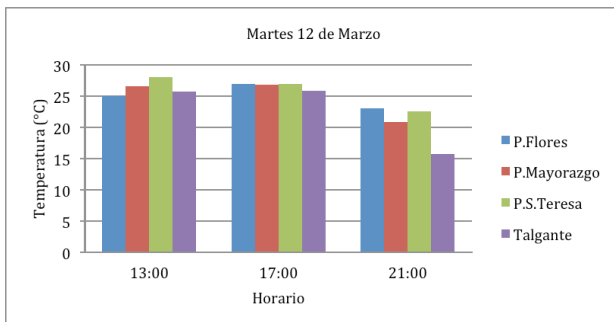


Figura 14 Temperatura martes 12 de marzo

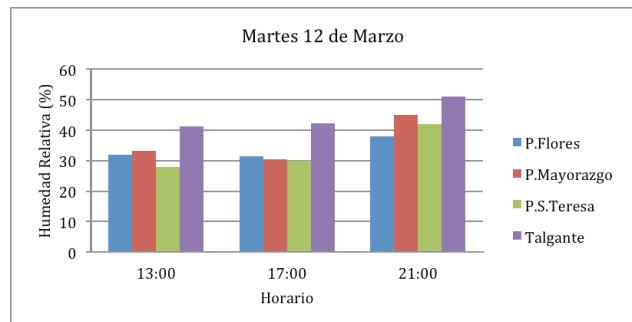


Figura 15 Humedad Relativa martes 12 de marzo

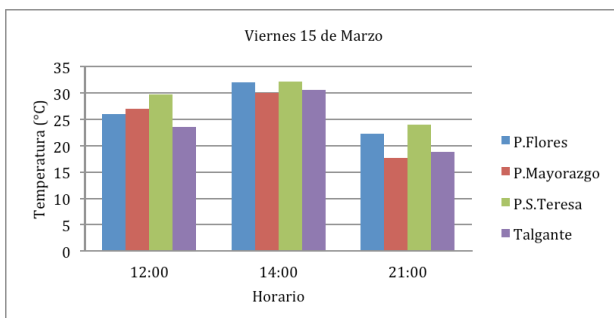


Figura 16 Temperatura viernes 15 de marzo

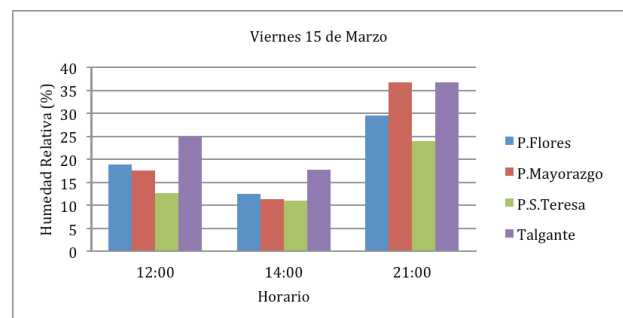


Figura 17 Humedad Relativa viernes 15 de marzo

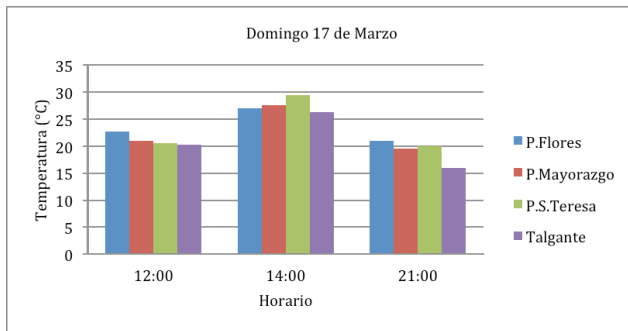


Figura 18. Temperatura domingo 17 de marzo

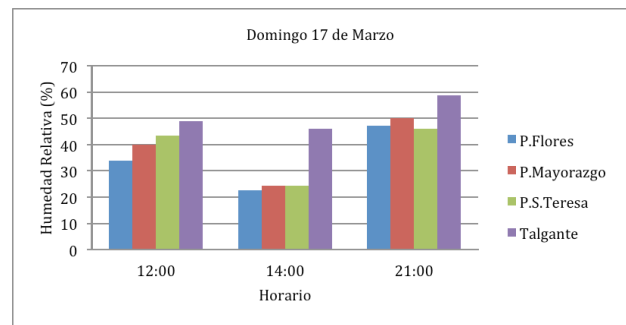


Figura 19. Humedad Relativa domingo 17 de marzo

El día martes los 3 espacios urbanos evidencian una temperatura ambiente común a las 17:00 (fig. 14), es relevante que la Plaza Flores al inicio del día posee el menor índice de temperatura pero al final del día es la que aumenta en mayor cantidad los valores. Por otro lado la Plaza Mayorazgo se sitúa entre medio de los otros 2 casos y al final del día disminuye considerablemente sus valores. La Plaza Mayorazgo mantiene el mayor porcentaje de humedad relativa durante la mayor parte del día, exceptuando el período entre las 16:00 y las 18:00, donde la Plaza Flores es la que logra mantener una mayor humedad en el período donde todas las plazas disminuyen al máximo sus índices. Los casos de Plaza Flores y Plaza Santa Teresa intercambian sus valores en el transcurso del día, ya que la Plaza Santa Teresa parte con niveles inferiores y al finalizar el día logra elevar la humedad en relación al otro caso.

El día viernes (fig. 16) presenta los mayores índices de temperatura de la semana, lo más relevante es que la Plaza Santa Teresa mantiene el mayor índice de temperatura durante todo el día. La Plaza Flores alcanza el mismo valor más alto que la anterior y posteriormente mantiene niveles elevados de temperatura. La Plaza Mayorazgo mantiene el mejor comportamiento ya que alcanza cifras menores y su rango de oscilación es mínimo. En cuanto a cifras referentes a la humedad relativa La Plaza Santa Teresa demuestra un evidente carecimiento de este factor, por otro lado la Plaza Mayorazgo y Flores demuestran índices parejos, siendo la primera la que aumenta considerablemente sus niveles en el transcurso de la tarde, con esto logra favorecer el confort térmico de si misma.

El último día de monitorización de datos (fig.18) La Plaza S. Teresa alcanza el valor más alto de temperatura a las 14:00 e incluso es la que posee la mayor oscilación térmica de las 3 estudiadas, La Plaza Flores es la que funciona mejor ya que mantiene una temperatura regular, finalmente la Plaza Mayorazgo presenta valores medios. En cuanto a la humedad relativa los 3 casos logran inferiores índices a las 14:00, siendo esto más acentuado en La Plaza Flores, que en definitiva es la que tiene el menor rango de humedad, por otro lado la Plaza Mayorazgo y Santa Teresa presentan índices similares durante el día.

### 4.3. TEMPERATURA DE SUPERFICIES, VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTOS.

A continuación se presentan las tablas 6 a 11 correspondientes a Temperatura de superficies (suelo) y velocidad y dirección del viento respectivamente, las 2 temperaturas que se encuentran relacionadas a superficies corresponden al suelo con radiación solar indirecta y posteriormente directa.

Tabla 6. Temperaturas de superficie (°C) al día martes 12 de marzo.

Hora	P.Flores	P.Mayorazgo	P.S.Teresa
13:00	25 - 40	27 - 44	38 - 44,6
17:00	32 - 41	25 - 41,2	36 - 39,8
21:00	23,6	21,6	29,8

Tabla 7. Velocidad (m/s) y dirección de viento al día martes 12 de marzo.

Hora.	P.Flores	P.Mayorazgo	P.S.Teresa
13:00	1,3 - 320 NO	0,5 - 27 NE	N/A
17:00	2 - NO	0,8 - 44 NE	N/A
21:00	0,3 - 64 NE	N/A	N/A

Tabla 8. Temperatura de superficie (°C) al día viernes 15 de marzo.

Hora	P.Flores	P.Mayorazgo	P.S.Teresa
12:00	27,4 - 36,4	17,2 - 35,2	37,8 - 44
14:00	35 - 47	26 - 51	35,2 - 53,8
21:00	24,4	15,4	25

Tabla 9. Velocidad (m/s) y dirección de viento al día viernes 15 de marzo.

Hora.	P.Flores	P.Mayorazgo	P.S.Teresa
12:00	N/A.	N/A.	0,3 - 64°NE
14:00	N/A.	N/A.	0,7 - 132 SE
21:00	N/A.	N/A.	N/A

Tabla 10. Temperatura de superficie (°C) al día domingo 17 de marzo.

Hora	P.Flores	P.Mayorazgo	P.S.Teresa
12:00	21,6 - 28,8	20,4 - 26	25,4 - 32,8
14:00	25,2 - 48,6	27,2 - 49,6	38,6 - 54,2
21:00	24,4	22	26,6

Tabla 11. Velocidad (m/s) y dirección de viento al domingo 17 de marzo.

Hora	P.Flores	P.Mayorazgo	P.S.Teresa
12:00	N/A.	N/A.	0,5 - 320 NO
14:00	0,7 - 28 NO	0,4 - 20 N	N/A.
21:00	N/A.	N/A.	N/A.

El día martes la Plaza Flores comienza con la mejor temperatura de superficie, durante el transcurso del día las cifras aumentan considerablemente, sin embargo al finalizar el día el calor acumulado logra ascender, obteniendo valores cercanos a la plaza mejor evaluada (Mayorazgo 21,6°C), finalmente destacan los altos niveles de la Plaza Santa Teresa llegando a 13°C por sobre la Plaza Mayorazgo y al término del día registrando 29,8°C.

El Viernes el comportamiento promedio de la Plaza Mayorazgo es el mejor de las 3 durante todo el día, la Plaza Flores registra niveles medios de temperatura de suelo durante todo el día, generalmente 10°C promedio por sobre el caso anterior, La Plaza Santa Teresa evidencia los peores valores superando incluso en 20,6°C al caso mejor evaluado.

El último día de monitorización la Plaza Mayorazgo vuelve a tener los mejores valores de superficie, sin embargo la Plaza Flores arroja valores bastante similares a esta, por otro lado la Plaza S.Teresa vuelve a arrojar los mayores índices de temperatura, llegando incluso a valores de 13,4°C por sobre la Plaza Mayorazgo.

El día martes encontramos la mayor cantidad de brisas, las que solamente se presentaron en la Plaza Mayorazgo y La Plaza Flores, encontrando a la Plaza S.Teresa con valores inexistentes. El día viernes los índices son completamente contrarios, ya que durante todo el día en la Plaza Flores y la Plaza Mayorazgo los valores son completamente nulos, mientras que la Plaza S.Teresa presento valores positivos de vientos durante 2 periodos, siendo provenientes de los sectores noreste y sureste. Finalmente el día domingo los vientos se presentan en las 3 plazas estudiadas, pero solo en una de las 3 ocasiones monitoreadas durante el día.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Las estaciones meteorológicas de Quilicura, Santiago y El Bosque claramente se ven afectadas por el efecto de isla de calor, estas poseen mayor temperatura ambiente que la estación meteorológica semi-rural de Talagante, los datos son bastante similares entre ellas, las mínimas diferencias de temperatura pueden asociarse a que Quilicura posee zonas industriales, esto conlleva a un importante movimiento de camiones, sumado a la existencia de autopistas, gran cantidad de automóviles y superficies pavimentadas. La Comuna de Santiago posee características similares a la anterior, con excepción de la zona industrial, sumado a esto un alto tráfico de personas, mayor cantidad de edificios, superficies pavimentadas y áreas verdes. Hipotéticamente se pensaba que la Comuna de Santiago presentaría los niveles más altos, por encontrarse en el centro de la ciudad, sin embargo la estación meteorológica está ubicada en el Parque O'Higgins, un pulmón verde de la ciudad, por lo tanto la temperatura ambiente podría estar afectada por estas condiciones microclimáticas, las que no representan la realidad total de la comuna. Finalmente, El Bosque posee la menor temperatura, esto debido a que es una comuna de carácter residencial, con construcciones de baja altura y al igual que Maipú recibe los vientos predominantes suroeste de la ciudad.

Las estaciones meteorológicas de Maipú y Las Condes presentan los valores más altos de temperatura en la madrugada, no disminuyendo su temperatura en relación a los demás casos, es extraño que comunas periféricas de la ciudad no logren disminuir su temperatura ambiente, según las lógicas y temáticas asociadas al fenómeno en estudio. Las Condes es una de las comunas de la ciudad que posee la mayor cantidad de áreas verdes, por otro lado Maipú es una de las comunas que recibe la mayor cantidad de vientos que entran a la ciudad. En ambos casos, las estaciones meteorológicas han sido instaladas por el autor y no cumplen necesariamente con los requisitos de una estación meteorológica profesional, a pesar de haber cumplido con todas las exigencias preestablecidas en los equipos de medición. Por lo tanto, es probable que en el caso de Maipú la temperatura no disminuya lo suficiente en la madrugada, esto se debe a la masa térmica de las construcciones adyacentes. En el caso de Las Condes la estación meteorológica se encuentra cercana a placas de revestimiento que durante el día se sobrecalientan, por lo tanto se cree que esto causa el exceso de temperatura que arroja el equipo de monitorización. En relación a esto se recomienda utilizar estaciones meteorológicas profesionales capaces de arrojar datos fidedignos.



Los estudios realizados en espacios públicos configurados arrojan datos interesantes; como se comenta en el análisis correspondiente, las temperaturas máximas alcanzan desde 8 a 10°C por sobre la estación semi-rural de Talagante. En la mayoría de los casos el comportamiento espacial coincide con lo anteriormente estudiado, espacios con áreas verdes y poca densidad constructiva en altura presentan bajas temperaturas, sin embargo la Plaza de las Flores y Santa Teresa de los Andes presentan temperaturas bastante elevadas, ambas poseen suelos pavimentados, plantas, arboles, adyacentes a calles con alto tráfico vehicular y un entorno edificado de 9 niveles aproximadamente.

En términos generales e ilustrativos en relación al marco teórico, se cumplen las lógicas establecidas por hipótesis y estudios anteriores mencionados en este artículo, donde una mayor cantidad de vegetación, construcciones de baja altura, menos cantidad de superficies asfaltada y menor densidad de personas y vehículos, son la base de una óptima calidad ambiental del espacio público.

Relacionando estos conceptos con la investigación, la Plaza Mayorazgo es la que presenta los valores térmicos más adecuados, obteniendo los mejores resultados durante los 3 días y en los 3 periodos investigados, en los que el factor de la temperatura de bulbo seco del ambiente, siendo la variable asociada a la columna vertebral de la investigación, entrega los mejores resultados en relación a las otras plazas y dichos resultados tienen una directa relación con las demás variables ambientales, esto quiere decir que una buena temperatura del ambiente va acompañada de un porcentaje de humedad relativa asociada al factor anterior, una temperatura de superficies manejada por materiales que tienen mayor reflejo de radiación solar y menor masa térmica que otros y finalmente la presencia de vientos que ayudan a generar un espacio más confortable en períodos calurosos.

La Plaza Mayorazgo entrego buenos resultados, con excepción de los vientos, ya que en el centro de la plaza las corrientes de aire son escasas. Esto se debe a la morfología del espacio público, su forma rectangular sumado a las construcciones adyacentes ubicadas en el lado oeste, no permiten la presencia del viento en los lugares más céntricos de la plaza, los valores climáticos se deben a una cantidad importante de arboles y superficies vegetales que permiten una relación lógica de la naturaleza con las variables climáticas.

Por otra parte, la Plaza Flores obtuvo temperaturas intermedias con respecto a sus pares, esto se debe a que en algunos períodos aumenta la humedad generando enfriamiento evaporativo, logrando que la temperatura no alcance valores extremos, debido a una cantidad y disposición de árboles que al mismo tiempo no permiten la incidencia de los rayos solares permanentemente en el suelo urbano con excepción del sector oeste, por otro lado la gran cantidad de automóviles que circula por 3 de sus lados incrementa los niveles de temperatura junto con disminuir el confort acústico. El movimiento del aire es generado principalmente por la circulación de una gran cantidad de vehículos que rodean el espacio público en 3 de sus lados, por ende la plaza posee menores velocidades y continuidad del factor en el centro del recinto, finalmente el movimiento de aire provocado por factores exclusivamente climáticos es mínimo.

El espacio que evidencio peores niveles de confort fue la Plaza Santa Teresa, ya que sus niveles de temperatura fueron mayores durante toda la investigación, exceptuando casos puntuales del día domingo, el cual posee una importante disminución tanto de personas como de vehículos en circulación por su perímetro. La humedad es deficiente, esto se debe a una mixtura entre la poca vegetación y la mala distribución de esta, por ejemplo; los árboles están ubicados en el sector sur de la plaza, generando la sombra proyectada hacia unos edificios adyacentes y dejando la mayor parte de la superficie expuesta a los rayos solares, sumado a esto la Plaza S.Teresa es el único caso que posee una superficie de agua ubicada en el sector norte de la plaza, completamente desprotegida del sol, siendo incapaz de solucionar o disminuir los problemas de calor en esta época del año. Como consecuencia de la deficiente distribución del arbolado, la temperatura de superficie es bastante elevada, siendo el espacio con los peores resultados en todas las monitorizaciones. En cuanto a los vientos, este fue el único ítem donde evidencio mejores resultados, esto se debe principalmente a que 2 de sus lados poseen completa permeabilidad espacial en relación a las vías de circulación automovilística, por otro lado la configuración de 2 edificios situados en el sector suroeste permiten la generación de corrientes continuas.

Los datos disponibles de la estación meteorológica de Talagante son los de temperatura de bulbo seco del ambiente y de humedad relativa, por lo tanto se desarrolla una comparación que nos revela la constante diferencia de temperatura en el transcurso de los días, por otro lado la humedad de Talagante siempre mantiene mayores valores que los espacios públicos, pero nunca excesivos, generando un aumento en el confort y en la sensación térmica de los espacios. Es importante destacar que los días martes y domingo los espacios públicos presentan las menores diferencias con el caso semi-rural, esta son de 2°C en promedio, por el contrario las mayores diferencias llegan hasta los 6°C. Es importante destacar que en la hora de mayor temperatura (14:00) las diferencias no son tan amplias como en la mañana y en la noche. Esto nos indica que los principales problemas de la ciudad se encuentran asociados a la deficiente capacidad de disipar el calor.

Las diferencias de temperatura de bulbo seco del ambiente entre los espacios públicos y Talagante en los meses de Noviembre y Marzo se relacionan a que en Noviembre el sol está llegando al solsticio, por otro lado en Marzo está cercano al equinoccio y con esto la ciudad recibe menos radiación, por otro lado es importante destacar que los vientos de Marzo son más fuertes que los de Noviembre, esto explica que en este mes llegamos a 10°C de diferencia y en Marzo solo a 6°C como máximo.

## 6. CONCLUSIONES

La investigación ha mostrado que Santiago de Chile experimenta el efecto isla calor con una diferencia en promedio de 3°C entre sus comunas urbanas y la semi rural. El estudio de los espacios públicos muestra que en algunos casos esta diferencia puede llegar a 10°C. Los 3 casos estudiados reflejan la importancia de la morfología, configuración y contexto de los espacios exteriores, el importante rol que cumple la vegetación en las ciudades y la distribución que debe poseer un espacio público en función de otorgar un confort térmico óptimo a sus habitantes y usuarios.

El estudio demuestra que es necesario comprender, utilizar y aplicar correctamente las propiedades de los elementos que componen los espacios urbanos, para esto es necesario realizar una planificación previa a la etapa de diseño, la que debe incorporar criterios de eficiencia energética en función del confort ambiental urbano, siendo este el proceso inicial y fundamental para disminuir la temperatura de la ciudad y con esto la temperatura del interior de las construcciones.

Existen formas de mitigar el fenómeno en espacios urbanos construidos, las que deben contemplar nuevas intervenciones de menor o mayor escala según el caso en estudio, dichas soluciones parten desde procesos arquitectónicos y podrían llegar a implementarse soluciones paisajísticas y/o urbanísticas. Las soluciones básicas y de menor impacto, pueden ser el aumento de las superficies vegetales en base a especies autóctonas en función de un menor requerimiento hídrico, el cambio de pavimentos o la implementación de sombreaderos, llegando a soluciones más complejas que impliquen disminuir el tránsito vehicular en base a un mejoramiento del transporte público, fomento del uso de la bicicleta y un mejoramiento de los espacios y recorridos peatonales, un mejoramiento de la normativa municipal actual, la cual regule la construcción en altura en función de las sombras arrojadas. Una correcta aplicación de lógicas urbanas bioclimáticas contemplaría un correcto uso de suelo, modificando normativas y rasantes actuales que no poseen ningún tipo de lógicas asociadas al confort urbano.

Es necesario establecer criterios de confort térmico en las ciudades, ya que siempre los espacios interiores estarán condicionados por el clima exterior y si este aumenta, necesariamente se incrementara el uso del sistema de aire acondicionado en edificios y casas, incluso podríamos llegar a excesos y cifras de consumo elevadas por los problemas climáticos que actualmente empezamos a percibir, las ciudades densamente habitadas y construidas podrían ser inhabitables en el futuro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INE – INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Resultados Preliminares Censo de Población y Vivienda 2012. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. – Junio 2012. Disponible en: [http://www.censo.cl/2012/08/resultados\\_preliminares\\_censo\\_2012.pdf](http://www.censo.cl/2012/08/resultados_preliminares_censo_2012.pdf). Acceso en: 5 de Octubre del 2012.
- SINCA – Ministerio del Medio Ambiente. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Disponible en: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/M?cache=off&> Acceso en: 3 de Diciembre del 2012.
- TUMINI, IRINA. Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso Madrid. Congreso SB10mad. Sustainable Building Conference. Disponible en: <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/a/A033.pdf>. Acceso en: 7, Septiembre del 2012.
- CONTRERAS, A.; SALAS, J.; VELASQUEZ, G.; QUEVEDO, H. Determinación de la Isla de Calor Urbano en Ciudad de Juárez Mediante Programa de Computo. Culcyt, Clima Urbano. Disponible en: <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/Mayo-junio2008/Culcyt%2026%20completa.pdf>. Acceso en: 2, Septiembre 2012.
- ROMERO, H.; IRARRAZABAL, F.; OPAZO, D; SALGADO, M.; SMITH, P. Climas Urbanos y Contaminación Atmosférica en Santiago de Chile. Revista EURE. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612010000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612010000300002&script=sci_arttext). Acceso en: 5, Noviembre de 2012.

## AGRADECIMENTOS

El autor agradece a Christopher Whitman y Daniela Cerón por su colaboración en los estudios.