

## **VARIACIÓN TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR Y DE LA OCUPACIÓN URBANA EN SAN JUAN –ARGENTINA.**

Mario Cúnsulo,<sup>1</sup> Alberto Papparelli<sup>2</sup>, Alejandra Kurbán<sup>3</sup>

INEAA (Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental)

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)  
Santa Fe 198 Oeste 1º Piso, J5400ZAA San Juan - e-mail: [arqamb@unsj.edu.ar](mailto:arqamb@unsj.edu.ar). Tel (0264) 4202664

### **RESUMEN**

El objetivo principal es determinar la progresiva modificación de la isla de calor urbana en verano e invierno, en un período de 15 años (1995 – 2010) y la correlación de ésta con la ocupación del Área Urbana del Gran San Juan (GSJ) – Argentina, localizada en la diagonal árida de América del Sur. Los resultados obtenidos demuestran la interrelación entre la ocupación urbana y la espacialización de la isla de calor en la ciudad. La intensidad del efecto es mayor en verano y el alcance es mayor al área urbana pero tiene a acercarse a éste.

**Palabras Clave:** índice urbanístico, isla de calor, zonas áridas, planificación urbana sustentable.

### **INTRODUCCIÓN**

Los ecosistemas humanos necesitan cada vez mas de la sustentabilidad ambiental debido al crecimiento de sus poblaciones para paliar uno de los mayores problemas que enfrenta la civilización mundial, como es el déficit energético producido en parte por el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, y por otra parte, por el uso indiscriminado de recursos energéticos destinados en un alto porcentaje al acondicionamiento térmico edilicio. El uso de la *oferta climática* de cada lugar, es uno de los manejos más accesibles de la energía, especialmente aplicado en el urbanismo y la arquitectura (Olgyay, 1973).

El clima macroescalar de San Juan se caracteriza por altos porcentajes de heliofanía relativa, fuerte radiación solar, vientos frescos predominantes del cuadrante Sur, baja humedad relativa y altos valores de amplitud térmica diaria y estacional. Estas condiciones meteorológicas presentan un importante potencial para lograr al confort higrotérmico de la población, típico de zonas áridas.

Además, los procesos de antropización en áreas urbanizadas, producen crecientes cambios en las condiciones del soporte físico original, causando una alteración del clima natural o macroescalar producida por la ocupación territorial y sus volumetrías edilicias, las características de la infraestructura vial (Correa, E., *et al.*, 2003), la forestación urbana y el calor antropogénico (Goward, 1981). También la densidad poblacional urbana genera cambios cuya influencia depende de las condiciones higrotérmicas, tanto en espacios abiertos como en interiores edilicios. Según Akbari *et al.* (1992), para ciudades con más de 100.000 habitantes los consumos de energía en horas pico se incrementan en 1,5% a 2,0% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura de bulbo seco. Por ello, las urbanizaciones, especialmente en ecosistemas áridos, imprimen una fuerte presión en la carga climática y el confort higrotérmico de su población (Cúnsulo *et al.*, 2006), particularmente influenciado por las diferentes características y tipologías de la distribución espacial de la ciudad.

Esa modificación del clima natural genera condiciones meteorológicas propias de las ciudades ocasionando el denominado: “clima urbano”, caracterizado por generar la “Isla de calor urbana”. Estos fenómenos son los principales aspectos de la climatología urbana, por su directa incidencia en la calidad de vida de sus habitantes, principalmente aquellas localizadas en zonas áridas (Oke, 2006). Algunos autores definen la isla de calor como: “*Calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas*” (Mazzeo, 1984), “*Diferencias entre la temperatura del área urbana y del área no urbana*” (Papparelli *et al.*, 1997 y 1998) y “... un ‘oasis invertido’, donde las temperaturas del aire y de las superficies son más cálidas que aquellas en sus entornos rurales” (Garland, 2011).

<sup>1</sup> Prof. Principal CONICET. (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Profesor titular Instituto Pre-universitario UNSJ.

<sup>2</sup> Prof. Principal CONICET, Profesor Titular FAUD, UNSJ.

<sup>3</sup> Prof. Principal CONICET, Profesor Titular FAUD, UNSJ.

La isla de calor urbana tiene una estrecha relación con la masa térmica construida. Por tanto, el potencial térmico de la ciudad debe ser considerado en el diseño urbano, a fin de ser aprovechado para mejorar las condiciones higrótérmicas en los espacios abiertos (y en consecuencia en los interiores edilicios) trabajando sobre las tecnologías y características de calzadas y veredas, la forestación urbana, las áreas de estacionamiento vehicular, y otros componentes urbanos de menor cuantía (Givoni, 1976). Es muy generalizado que en estas zonas áridas se desarrollen rápidamente y casi al azar, planificaciones urbanas que no se fundamentan en la oferta climática de la región, basándose casi con exclusividad en intereses socio-económicos con marcada especulación inmobiliaria y en el mejor de los casos utilizando modelos morfológico-significativos transculturados de otros contextos espaciales y socio-culturales.

## METODOLOGÍA

### a) Índices urbanísticos y área urbana

Se ejecuta el estudio tomando como base gráfica el plano de la ciudad de San Juan (GSJ - Argentina) para el año 2010, y se realizan relevamientos planialtimétricos de Nodos Urbanos muestra. Se cuenta con resultados obtenidos con la misma metodología, para los años 1995, 2000 y 2005, (Papparelli *et al.*, 2000, 2007a y b), los que se adoptan como base de comparación para las variaciones históricas y espaciales de la ocupación urbana del área de estudio.

Para la delimitación del área urbana, se utilizaron los valores de Factor de Ocupación del Suelo (FOS) representativos de cada Nodo Urbano muestra, por ser este índice urbanístico el que mejor representa las características propias de la ocupación del territorio. Se procesan dichos valores de FOS con un modelo tridimensional al que se le ejecutan cortes horizontales con equidistancias de 5,0%, obteniéndose isolíneas representativas de sus formas de distribución espacial. La isolínea correspondiente al FOS igual a 5% se asume como el límite urbano. (Ver Figura 1)

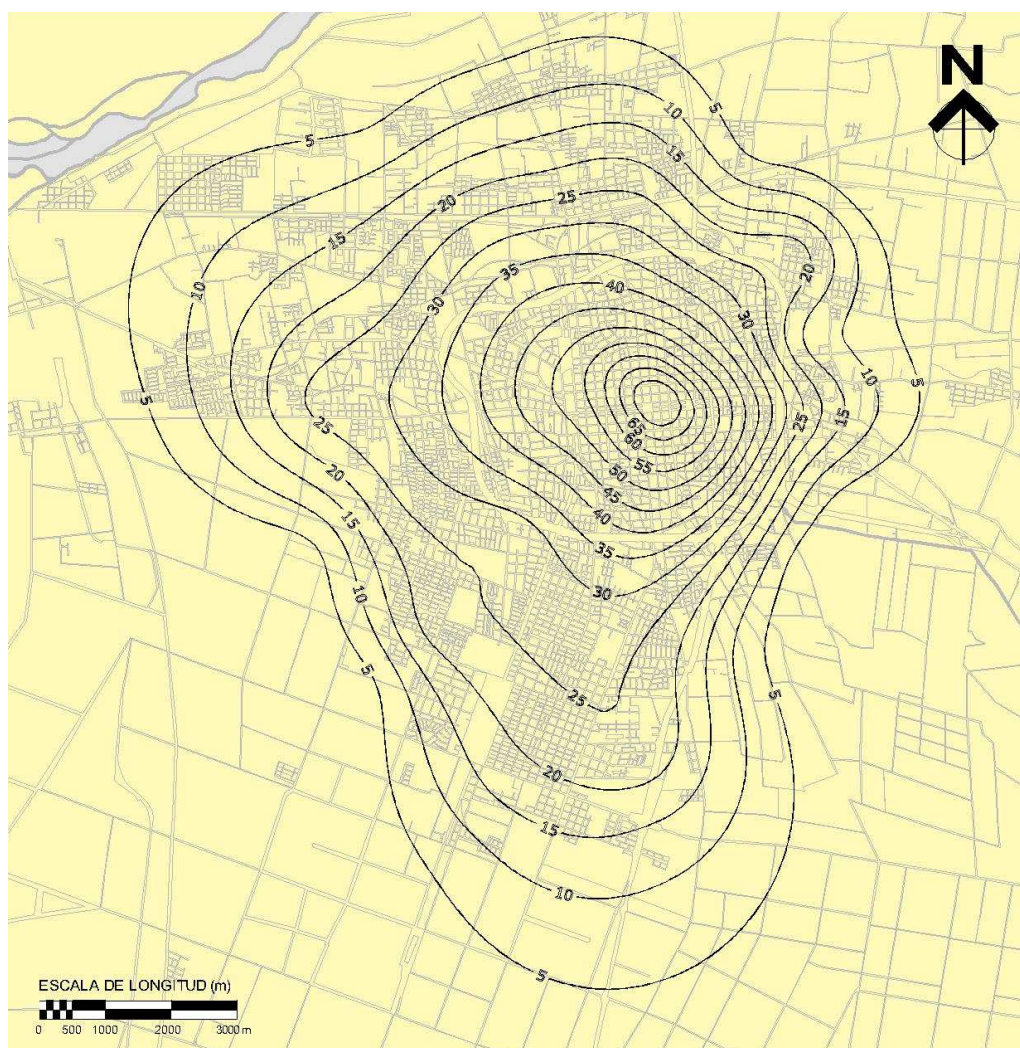


Figura 1: Isolíneas de F.O.S. Año 2010 – Gran San Juan

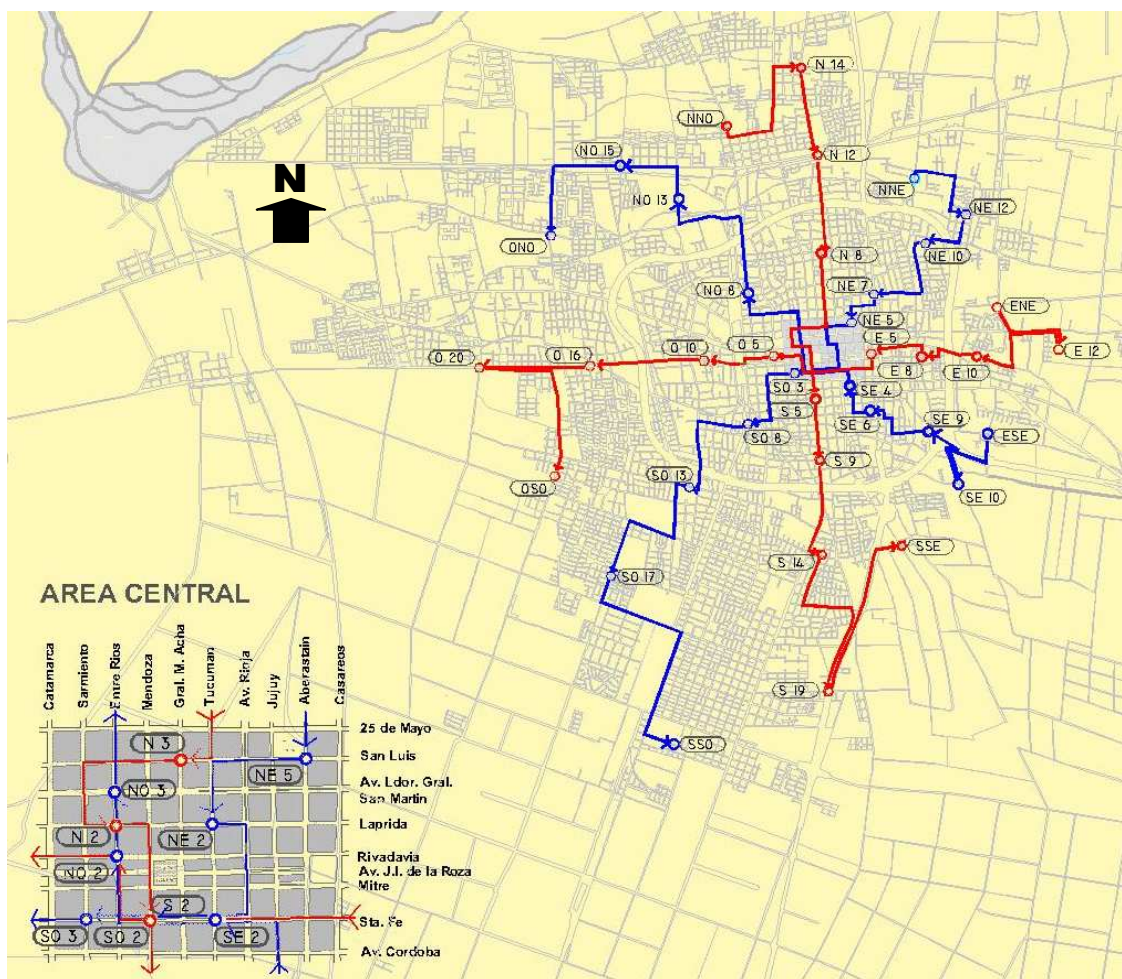


Figura 2: Plano de recorrido de Mediciones Itinerantes

### b) Temperaturas en el Gran San Juan

Los registros climáticos en el área de estudio, se ejecutan en el año 2010, con un Programa de Mediciones Itinerantes (Figura 2) sobre los Nodos Urbanos muestra. Se cuenta con valores obtenidos con la misma metodología, para los años 1995, 2000 y 2005, los que se adoptan como base de comparación para las variaciones temporales de temperaturas urbanas. Estas se registraron en 48 Nodos Urbanos muestra del Gran San Juan ubicados a lo largo de los 8 ejes cardinales principales de Rumbos, Medios Rumbos y Cuartos de Rumbos. Se utilizaron 2 termohigrómetros digitales portátiles. Las mediciones se realizaron en siete (7) días alternados de registros tridimensionales con horario central a las 9:00, 15:00 y 21:00 y por cada estación climática, eliminándose de éstas la más atípica. Las mediciones se ejecutaron sobre dos (2) recorridos para dos (2) orientaciones perpendiculares entre sí y en forma simultánea. Se seleccionaron días con cielo despejado, con un Índice de claridad  $K_T \cong 0,7$ . Los registros entre uno y otro Nodo Urbano se realizaron con una diferencia de 5 minutos, totalizando cada recorrido, 50 minutos. Debido a la diferencia temporal entre tomas, se realizan correcciones horarias por medio de los valores de temperatura registrados minuto a minuto en una estación meteorológica fija, para los mismos días de medición itinerante.

### c) Determinación de Isotermas Urbanas e Isolíneas de Isla de Calor

Con los valores finales de  $T^{\circ}\text{C}$  en cada uno de los Nodos Urbanos, se construye un modelo del comportamiento de dicha variable climática. Esta información se procesa por medio de un software de interpolación de datos, para convertir la información puntual disponible, en información continua más ajustada a la realidad y comparable con otros datos territoriales. A este modelo de tres dimensiones se le realizan cortes horizontales con equidistancias de  $0,10^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose el plano de Isotermas Urbanas. Las Figuras 3 y 4 corresponden a las isotermas de verano e invierno 2010 respectivamente.



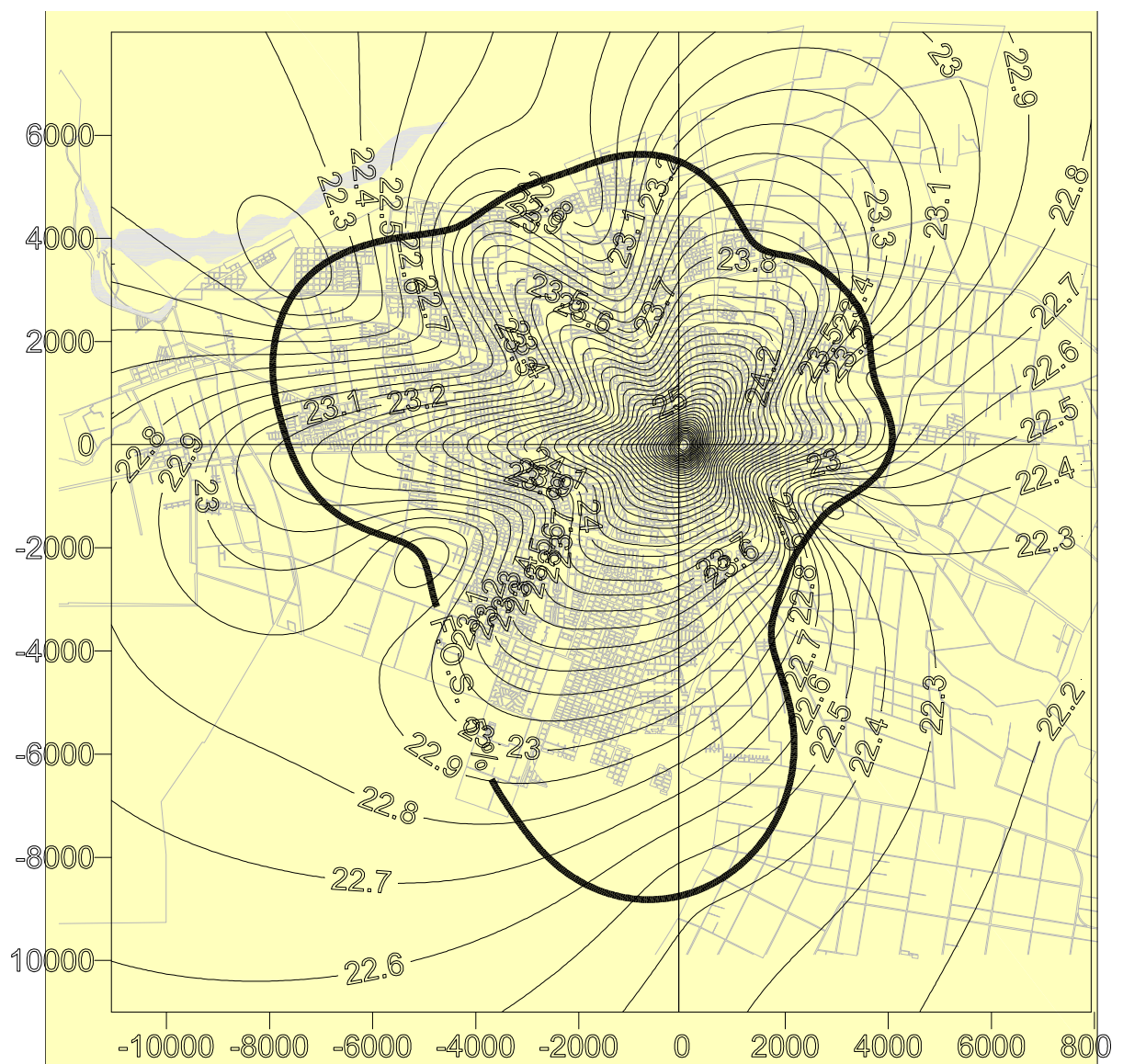


Figura 3: Isotermas – VERANO 2010

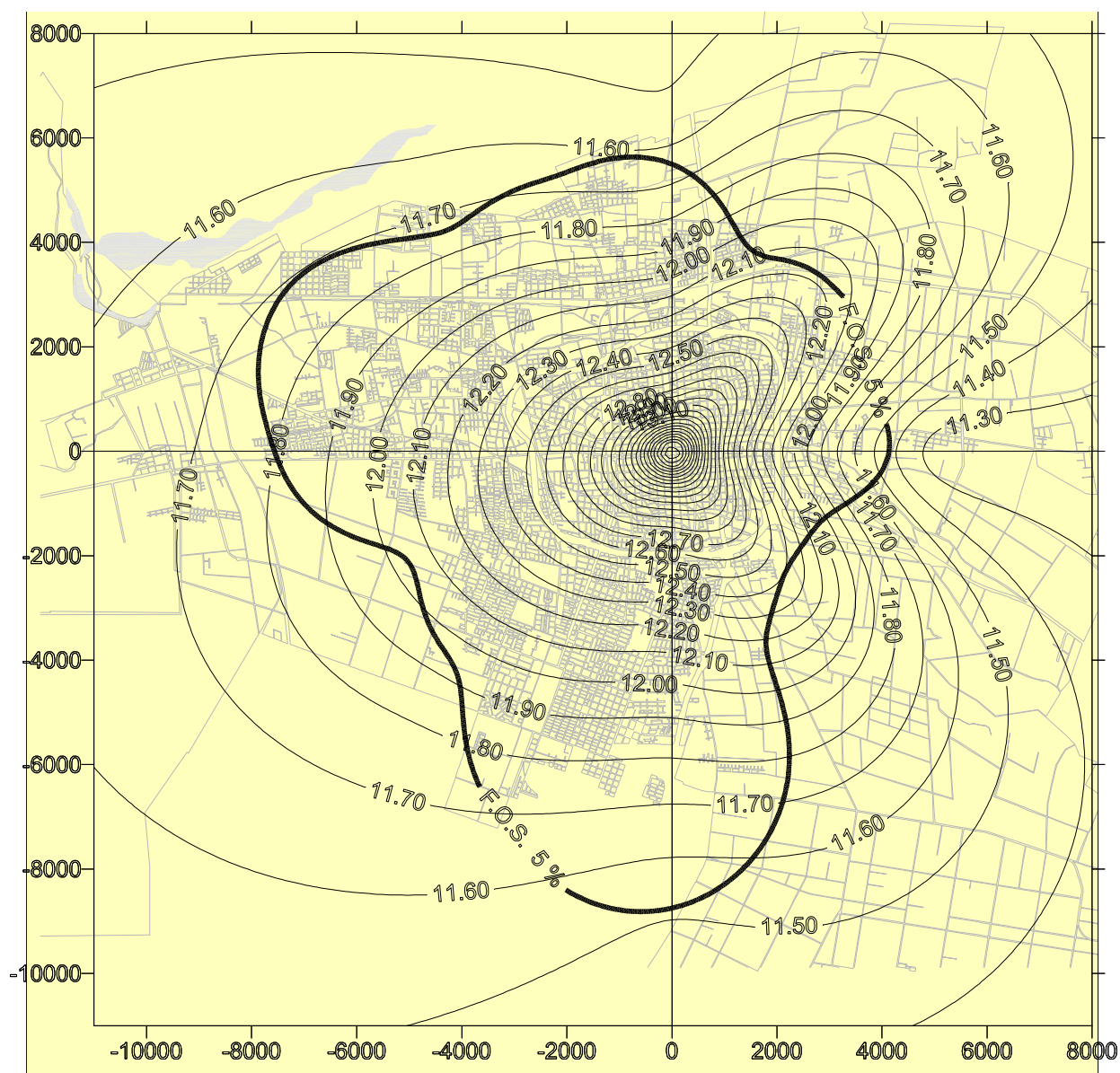


Figura 4: Isotermas – INVIERNO 2010

Tomando como base referencial la temperatura correspondiente el primer Nodo No Urbano de cada orientación cardinal, se calculan las *diferencias* de temperatura  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  en cada Nodo Urbano en la misma orientación. Los valores de  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  obtenidos se procesan para convertir la información puntual disponible en información continua. Utilizando un modelo de base radial se realizan cortes horizontales con equidistancias de  $0,25^{\circ}\text{C}$ . La isolínea de valor  $\Delta T^{\circ}\text{C} = 0,0^{\circ}\text{C}$ , representa el límite espacial máximo de la Isla de Calor. Con estas diferencias se obtienen las isolíneas representativas de la Isla de calor urbana desde el centro principal hacia la periferia de la ciudad. Las Figuras 5 y 6 muestran dichas isolíneas correspondientes al año 2010, sobre la trama urbana del GSJ, a fin de una mejor visualización y verificación espacial respecto al asentamiento humano. Estas isolíneas resultan en general concéntricas al origen de los ejes de referencia de la ciudad. Como ejemplo se presentan las curvas del año 2010. Por razones de espacio no se presentan las curvas representativas de los años 1995, 2000 y 2005.

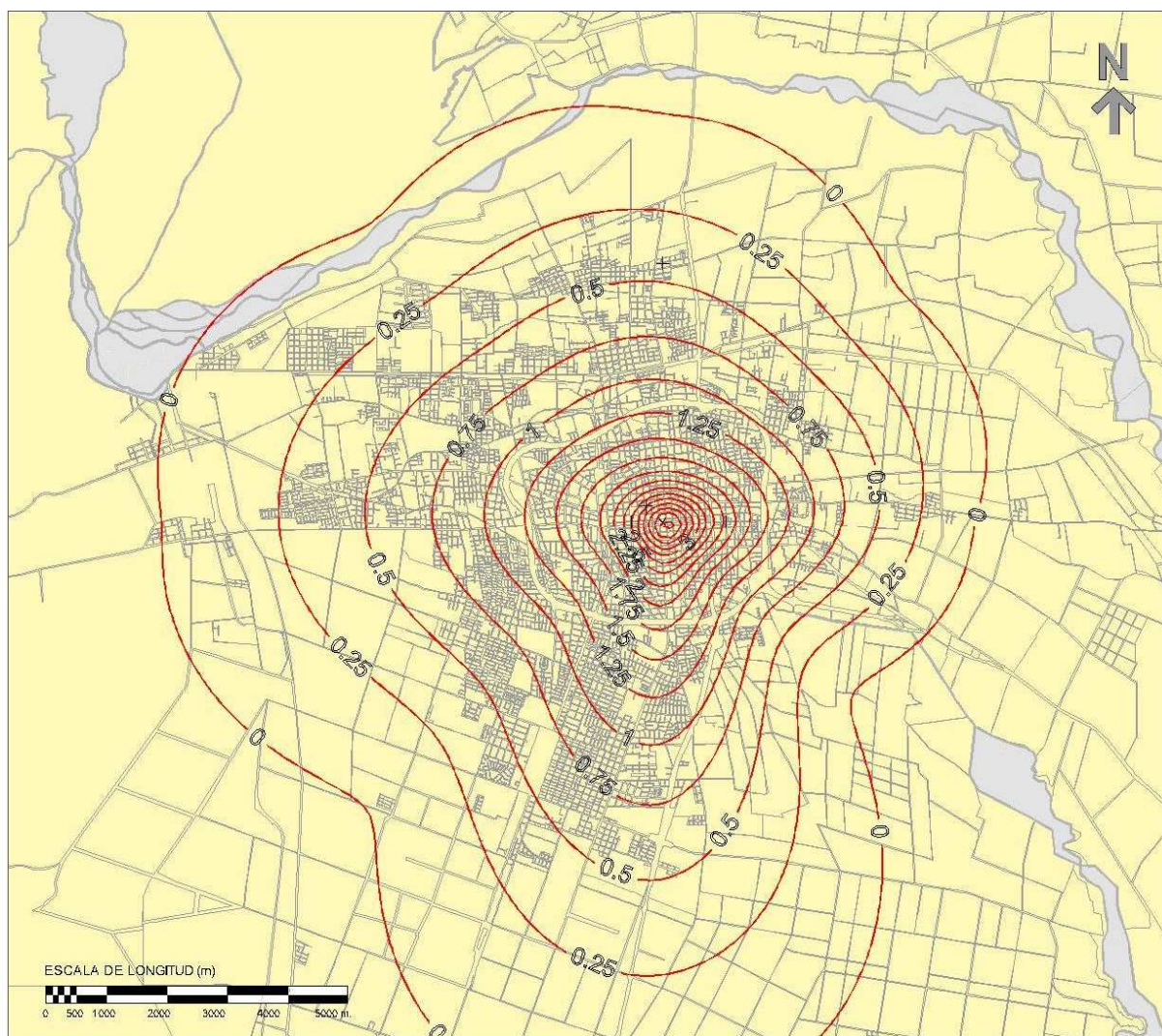


Figura 5: Isolíneas de ISLA DE CALOR – VERANO 2010



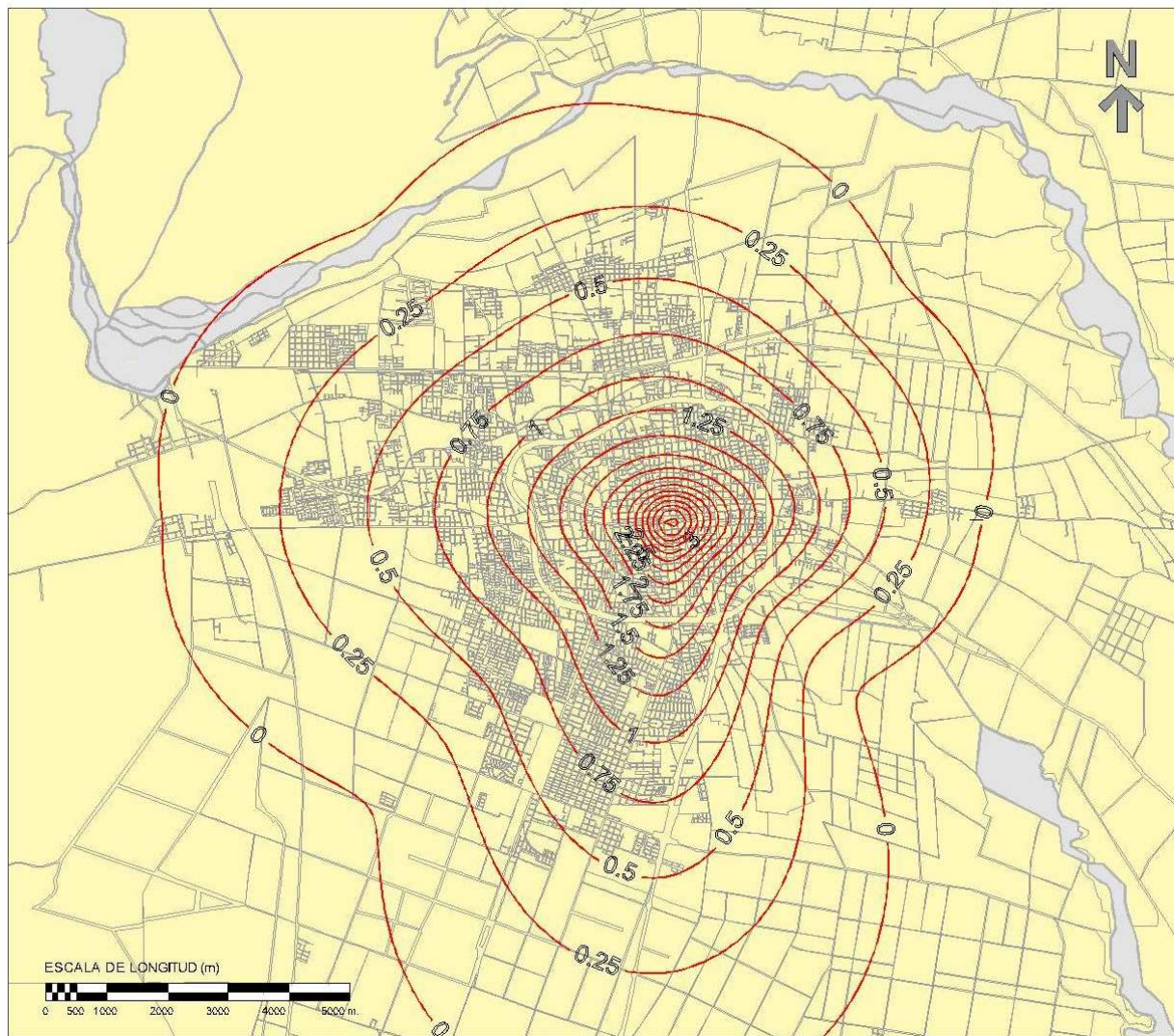


Figura 6: Islóneas de ISLA DE CALOR – INVIERNO 2010

#### d) Parámetros representativos de la Isla de Calor Urbana

El análisis de la Isla de calor urbana se realiza en base a tres parámetros característicos:

- **ALCANCE:** Distancia máxima medida sobre cada orientación cardinal, desde el centro hasta la isolínea de  $\Delta T^{\circ}\text{C} = 0,0^{\circ}\text{C}$ .
- **EXTENSIÓN:** Porcentaje de variación entre la distancia del Límite Urbano al centro principal y la distancia del alcance máximo de la Isla de Calor, medida sobre el eje de cada orientación cardinal.
- **INTENSIDAD:** Valor máximo absoluto de diferencia de temperatura de bulbo seco, obtenido en el centro urbano principal.

## RESULTADOS

### ALCANCE y EXTENSIÓN

Utilizando las herramientas del software CAD se obtienen los valores de alcance y extensión para todas las orientaciones cardinales, las que se promedian obteniéndose un valor representativo para cada año de estudio. Los valores para el año 2010 se muestran en la Planilla 1.

Orientación	(1) Límite Urbano (m)	VERANO			INVIERNO		
		(2) Alcance (m)	(3) Diferencia (1) – (2)	(4) Extensión (3)/(1)*100	(5) Alcance (m)	(6) Diferencia (1) – (5)	(7) Extensión (6)/(1)*100
NORTE	5497,8	6069,9	572,1	10,4	5898,5	400,7	6,8
NORESTE	4403,5	5457,0	1053,5	23,9	4881,3	477,8	9,8
ESTE	4133,3	4613,9	480,6	11,6	4314,0	180,7	4,2
SURESTE	3131,8	4147,6	1015,8	32,4	4059,0	927,2	22,8
SUR	8747,0	9428,0	681,0	7,8	8968,0	221,0	2,5
SUROESTE	5854,3	7391,6	537,3	26,3	7505,0	1650,7	22,0
OESTE	7550,5	8302,3	751,8	10,0	9094,5	1544,0	17,0
NOROESTE	6008,6	7479,5	1470,9	24,5	6874,4	865,8	12,6
<b>PROMEDIO</b>	<b>5665,9</b>	<b>6611,2</b>	<b>945,4</b>	<b>18,4</b>	<b>6449,3</b>	<b>783,5</b>	<b>12,2</b>

Planilla 1: Valores de ALCANCE y EXTENSIÓN para el año 2010.

El mismo procedimiento se realiza para los años 1995, 2000 y 2005. Los valores promedio para todas las direcciones se presentan en la Planilla 2.

AÑO	Límite Urbano Promedio (m)	VERANO			INVIERNO		
		Alcance (m)	Diferencia (m)	Extensión (%)	Alcance (m)	Diferencia (m)	Extensión (%)
1995	4883,7	6166,9	1283,3	26,5	6201,9	1318,3	21,4
2000	5065,5	6594,5	1529,0	32,5	6261,9	1196,4	19,5
2005	5643,2	6556,4	913,2	17,4	6543,6	900,4	14,6

Planilla 2: Valores Promedio de ALCANCE y EXTENSIÓN para los años 1995, 200 y 2005.

El ajuste lineal de los valores demuestra una tendencia promedio sostenida en el **crecimiento** del ALCANCE, en los últimos 15 años. El aumento anual promedio es de 25,9m para verano y de 20,5m para invierno. Para el año 2015 la prognosis es que la Isla de Calor tendrá un ALCANCE promedio aproximado de 6800m en verano y 6600m en invierno. (Figura 7)

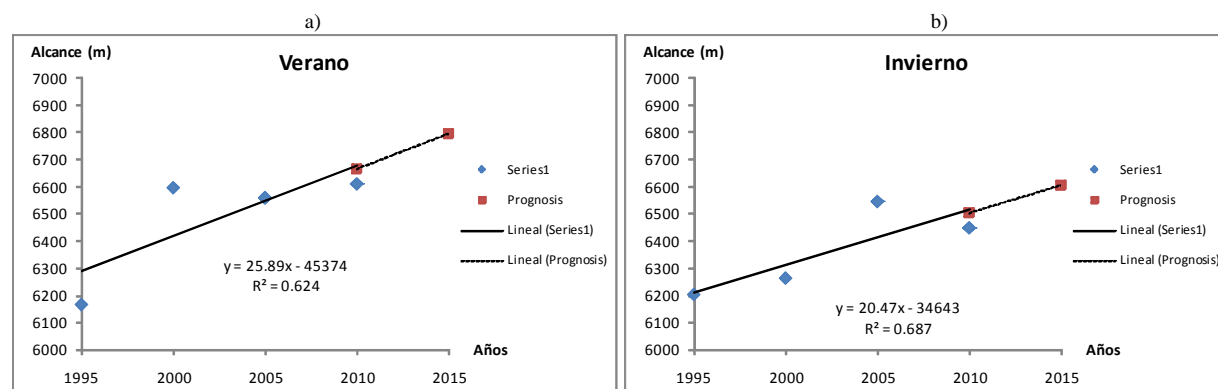


Figura 7: Modelización del ALCANCE de la Isla de Calor: a) Verano; b) Invierno

El ajuste lineal de los valores demuestra una tendencia promedio sostenida en la **reducción** de la EXTENSIÓN, en los últimos 15 años. El aumento anual promedio es de 0,15% para verano y de 0,20% para invierno. Para el año 2015 la prognosis es que la Isla de Calor tendrá una EXTENSIÓN promedio aproximada de 13,7% en verano y 8,8% en invierno. (Figura 8)



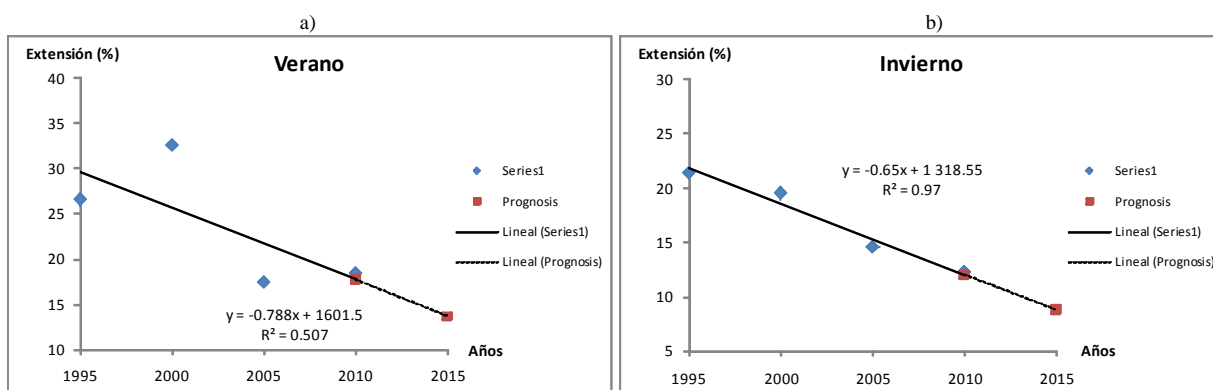


Figura 8: Modelización de la EXTENSIÓN de la Isla de Calor: a) Verano; b) Invierno

### INTENSIDAD

El valor de la isolínea de isla de calor máxima (la más cercana al centro), representa la diferencia de temperatura máxima entre el centro y la periferia. Los valores obtenidos se resumen en la Planilla 3.

ESTACIÓN CLIMÁTICA	INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR			
	1995	2000	2005	2010
VERANO	2,00°C	5,00°C	4,00°C	3,75°C
INVIERNO	1,25°C	3,00°C	3,75°C	2,50°C

Planilla 3: Valores Promedio de ALCANCE y EXTENSIÓN para los años 1995, 200 y 2005.

El ajuste lineal de los valores demuestra una tendencia promedio sostenida en el **crecimiento** de la INTENSIDAD, en los últimos 15 años. El aumento anual promedio es de 0,17°C para verano y de 0,16°C para invierno. Para el año 2015 la prognosis es que la Isla de Calor tendrá una INTENSIDAD aproximada de 4,75°C en verano y 3,75°C en invierno. (Figura 9). Se hace notar que siempre resulta una mayor intensidad en verano en relación al invierno. En verano se detecta además un comportamiento decreciente si se considera desde el año 2000 en adelante, comportamiento que difiere respecto del promedio de los quince años.

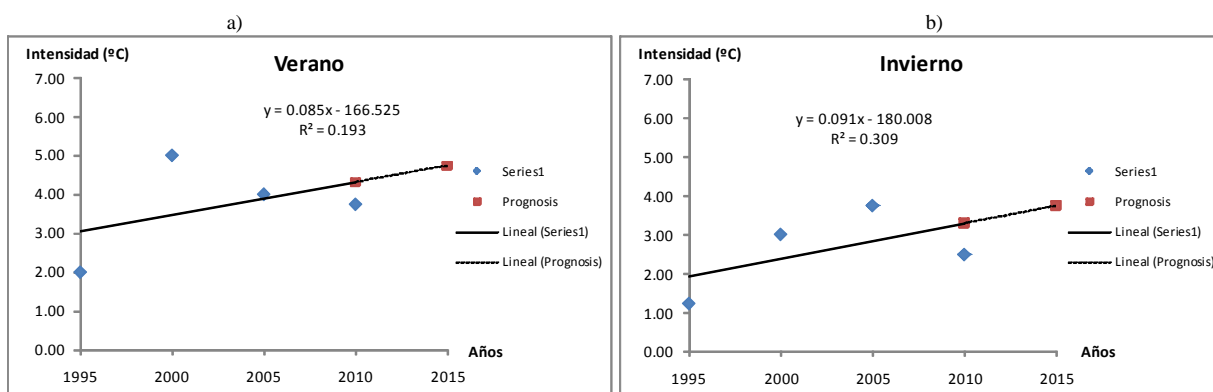


Figura 9: Modelización de la INTENSIDAD de la Isla de Calor: a) Verano; b) Invierno

### CONCLUSIONES

Existen correspondencias entre la ocupación urbana y la modificación que la ciudad produce a la temperatura macroescalar en invierno y verano, ya que la isolínea representativa del límite urbano presenta un patrón similar a la isolínea límite de la isla de calor.

Las curvas que representan la modificación térmica del clima macroescalar que se produce en un área urbana, siempre excede al límite urbano. Esto indica que el efecto térmico del área urbana no se limita sólo a su ejido, sino que afecta a sus zonas perimetrales colindantes.

La correlación entre el alcance de la isla de calor y la distancia al límite urbano muestra una tendencia creciente, lo cual indica que a medida que se incrementa espacialmente el área urbana, aumenta la distancia máxima desde el centro principal hasta la isolínea de  $\Delta T^{\circ}\text{C}=0$ .

La intensidad de la isla de calor aumenta en relación al incremento de la ocupación urbana. Dada la tendencia generalizada en relación con el crecimiento de las ciudades, los planificadores urbanos deberán considerar como una importante variable microclimática de estudio, este aumento en la diferencia entre la temperatura urbana y la no urbana.

También estos valores deberán ser tenidos en cuenta cuando se apliquen herramientas de diseño bioclimático de edificios, ya que el rendimiento de algunos sistemas pasivos variará con el incremento de la temperatura urbana.

En la actualidad, se están estudiando otros factores que influyen en la formación de la isla de calor como son la masa térmica, el factor de ocupación del suelo, las dimensiones de calles, la distribución y tipo de forestación y el calor antropogénico (cantidad de habitantes, consumo energético), para identificar sus respectivos aportes a tal fenómeno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Artículo de Revista con Referato:

- Correa, E.N., Flores Larsen, S., Lesino, G., (2003); Isla de Calor Urbana: efecto de los pavimentos. Inf. de Avance, AVERMA, Vol.7, N°2, ISSN 0329-5184.
- Cúnsulo, M., Papparelli, A., Kurbán, A., Montilla, E., Herrera, C., (2006); Impacto de la Edificación en el Clima Urbano Árido, Revista AVERMA; ISSN 0329-5184, Vol. 10, Págs. 11-01 a 11-07.
- Goward, S.N., (1981); Thermal behavior of urban landscapes and the urban heat island. *Physical Geography* 2, 19-33
- Oke, T.R., (2006), Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology* 84, 179-190
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E.; Herrera, C. (1997) Variación Higrotérmica entre Área Urbana y No Urbana en una Zona Árida: Ciudad de San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Volumen 1, 225 - 228.
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M., Montilla E. (1998). Interdependencia entre Isotermas e isohumias con la Modalidad de la Estructura Urbana. *Avances en energías renovables y Medio Ambiente* ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Vol. 2 11.17-11.20

### Capítulo de Libro:

- Akbari H., Davis S., Dorsano S.J. and Winert S., (1992); Cooling our Communities – A Guidebook on Tree Planning and Light Colored Surfacing; US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division, Berkeley.
- Garland, L. (2011); Heat Islands, earthscan, London - Washington.
- Givoni, B., (1976); Man, Climate and Architecture, Building Research Station; Applied Science Publishers Ltd, London.
- Mazzeo, N., (1984); Aplicaciones del Diagnóstico Climático a problemas relacionados con el urbanismo; Fac. de Cs. Exs. y Nat.; UBA, Bs. As.
- Olgyay, V., (1973); Design With Climate, Princeton University Press; New Jersey
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., Rios, E.; (2000); Características de la Distribución Espacial en la Ciudad de San Juan - Estadística 1995; Editorial FAUD – UNSJ San Juan.
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., Rios, E.; (2007a); Características de la Distribución Espacial en el Gran San Juan - Estadística 2000; Editorial NOBUKO, Bs. As.
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., Rios, E.; (2007b); Características de la Distribución Espacial en el Gran San Juan - Estadística 2005; Editorial NOBUKO, Bs. As.

## ABSTRACT

Its main objective is to determine the progressive modification of the summer and winter urban heat island over a 15 years period and its correlation with the occupation of the San Juan Urban Area (GSJ)- ARGENTINA, settled down over the arid fringe of South America. The results demonstrate the interrelation between the urban occupation and the development of the urban heat island over the city. The intensity of the effect is greater in summer and the reach is bigger to the urban area but it has to come closer to it.

**KEY WORDS:** urban index, heat island, arid zones, sustainable urban planning.