

VOLUMETRÍA URBANA Y CLIMA: ANÁLISIS HISTÓRICO Y ESPACIAL EN UNA ZONA ÁRIDA

Alberto Papparelli¹, Alejandra Kurbán¹, Mario Cúnsulo², Carlos Herrera³, Eduardo Montilla³
Área Arquitectura Ambiental

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Santa Fe 198 Oeste 1° Piso, 5400 San Juan. Email: argamb@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

RESUMEN: El trabajo presenta resultados parciales de un proyecto de investigación trienal, que tiene como objetivo determinar la modificación de la temperatura y humedad relativa urbanas en relación con su entorno natural periférico. Se trabaja con una estadística de 12 años (1993-2004) y se analiza la evolución higrotérmica diaria, máxima, media y mínima en una ciudad de zona árida (Gran San Juan) y su área adyacente. Se relaciona este comportamiento higrotérmico, con los índices urbanísticos de las Áreas Urbana y No Urbana, infiriendo correlaciones recíprocas. Los resultados dodecádicos muestran en el Área No Urbana una disminución de la temperatura de 0,4°C y de humedad relativa de 12,2%; en el Área Urbana se registró un aumento de 4,4°C y 10,1% respectivamente. En ese período la superficie de la ciudad aumentó un 37,1%, el Factor de Ocupación del Suelo un 4,5% y la Volumetría Edilicia un 8,9%. Las conclusiones sugieren una mayor influencia de la extensión territorial de una ciudad en los procesos de calentamiento urbano, por sobre su densificación volumétrica

Palabras clave: clima urbano, volumetría edilicia, variación higrotérmica, isla de calor urbana.

INTRODUCCIÓN

Cada vez es más consistente la concepción del incremento de las temperaturas, especialmente las mínimas, en relación con el calentamiento global producido por el efecto invernadero (Rusticucci, M., Barrucand, M., 2004); de continuar esta tendencia cada día habrá más días seguidos de temperaturas mínimas altas. Por ello, la temperatura no disminuirá tanto durante la noche y no llegará a valores tan bajos a primera hora de la mañana.

La captura de mayor calor en la atmósfera y su consiguiente reemisión a la tierra producida por el aumento de los gases invernadero, posee como causas concurrentes los procesos de antropización urbana, entre los cuales se destaca el aumento de la densidad de las ciudades con incrementos de la planta urbana tanto en superficie de ocupación como en volumetría edilicia.

La isla de calor urbana ha sido descrita como un efecto invernadero local, ya que la capa de contaminación existente sobre las ciudades hace que llegue a éstas de un 10 a un 30% menos de radiación solar que a su periferia rural. Las actividades antropogénicas convierten a las ciudades en productoras de calor, razón por la cual este calor puede considerarse un contaminante atmosférico que origina contaminación térmica.

Dentro de las condiciones meteorológicas, la temperatura es la variable más sensible debido tanto a la alteración de las características térmicas de la superficie, como a la modificación de la totalidad de los parámetros determinantes del balance de radiación. Asimismo, las nubes constituyen uno de los más importantes obstáculos a la radiación solar por lo que su escasez provoca un mayor calentamiento y por tanto un aumento de la isla de calor. Por ello en ciudades localizadas en zonas áridas el efecto de calentamiento urbano como consecuencia de los bajos tenores de humedad relativa intervienen incrementando las diferencias de temperatura urbano-rural.

A su vez, el aumento del tamaño de la ciudad y el consiguiente incremento de isla de calor es una clara evidencia de la influencia de la morfología urbana, habiéndose propuesto modelos que relacionan logarítmicamente la diferencia entre las temperaturas urbana y rural con la cantidad de población (Oke, 1973).

Por tanto, conforme su escala de desarrollo, el aumento de la edificación en zonas áridas mesotermiales y cálidas, influye en el potencial bioclimático de las ciudades creando islas de calor que durante el invierno mitigan las marcadas amplitudes térmicas pero en épocas estivales provocan altos niveles de desconfort higrotérmico.

Estudios anteriores de isla de calor urbana del Gran San Juan (Papparelli, *et al* 1997) realizados con estadísticas higrotérmicas quinquenales 1991/1995, permitieron cuantificar y espacializar su distribución conforme sectores cardinales

¹ Profesor Titular FAUD-UNSJ; Profesional Principal CONICET

² Profesional Principal CONICET; Profesor Preuniversitario UNSJ

³ Jefe de Trabajos Prácticos FAUD-UNSJ

principales. Actualmente la unidad de investigación cuenta con un banco de datos urbanísticos actualizados, que le permite dar continuidad al análisis histórico de la relación existente entre el aumento de edificación y las modificaciones climáticas.

Un estudio sostenido en el tiempo de las interrelaciones existentes entre el crecimiento de la ciudad y sus efectos en el clima urbano, permitirá prever tendencias de comportamientos recíprocos para diseñar herramientas útiles de planificación y diseño urbano-arquitectónico que colaboren en la obtención del necesario confort higrotérmico de la población. Ello involucra decisiones respecto a distribución espacial de los indicadores urbanísticos (FOS: Factor de Ocupación del Suelo, DE: Densidad Espacial, CU: Canopia Urbana), tanto como especies, densidad y distribución de la cobertura forestal en los espacios abiertos públicos, particularmente la arboleda de canales viales urbanos. Asimismo posibilitará calcular rápidamente las estrategias bioclimáticas que permitan proponer diseños arquitectónicos posibles de readaptarse en el tiempo conforme los cambios en el comportamiento microclimático.

Además, el conocimiento de las variaciones del clima natural con sus variaciones de temperatura urbana, permitirá adoptar decisiones de control respecto a la contaminación ambiental resultante y al aumento del consumo energético para uso doméstico e institucional destinado al acondicionamiento térmico edilicio necesario para paliar los efectos negativos de la isla de calor durante el verano en zonas tanto de clima árido cálido como mesotermal.

MÉTODO DE OBTENCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

La estadística climática abarcó 12 años, período 1993-2004, con registros obtenidos por medio de dos tipos de mediciones: fijas e itinerantes. Las primeras se registraron con dos estaciones meteorológicas de idénticas características técnicas, una instalada en el Área Eminentemente Urbana del Gran San Juan (Área Arquitectura Ambiental, 2004) y otra en el Área No Urbana ubicada a 15km al sur de la anterior (INTA-Pocito, 2004). Los registros itinerantes abarcaron toda el área urbana del Gran San Juan. El detalle de las mediciones es el siguiente:

- **Estación Área Arquitectura Ambiental: EM-I (FAUD-(UNSJ) Lugar: Área Eminentemente Urbana**

Ubicación: Latitud Sur 31° 32' Longitud Oeste: 68° 30'; Altura: 635m snm

Esta estación marca Davis Weather Monitor II, posee un sistema de adquisición de datos y registro histórico digital que permite el acceso de los datos almacenados en el sistema desde una PC. Se encuentra localizada a una altura de 12,0m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia cercana, lugar que garantiza una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana. El sistema de adquisición de datos se programó para realizar tomas cada 60 minutos. A fin de hacer comparables los datos registrados en esta estación con los registros tomados a 2,00m sobre el nivel del terreno natural, se realizó un estudio de perfiles verticales, lo que permitió trasladar los valores registrados a 12,0m de altura a una estación meteorológica fija simulada a 2,00m sobre el nivel del suelo aplicando los porcentajes de variación calculados.

- **Estación INTA – Pocito: EM-II. Lugar: Área No Urbana**

Ubicación: Latitud Sur 31° 37'; Longitud Oeste: 68° 32'; Altura snm: 618m

Esta estación meteorológica posee idénticas características a la instalada en el área urbana. Además cuenta con un termohigrógrafo Tipo B en Abrigo Meteorológico a 2,00m de altura.

- **Mediciones itinerantes. Lugar: Área Urbana del Gran San Juan**

El recorrido abarca un total de 48 puntos de medición distribuidos a lo largo de 2 ejes cardinales de rumbo (N-S, E-O), 2 de medio rumbos (NE-SO, SE-NO) y 4 de cuartos de rumbo (NNE-SSO, ENE-OSO, ESE-ONO y SSE-NNO) (16 orientaciones con centro en la Plaza principal de la ciudad: 25 de Mayo). Se utilizaron 2 termohigrómetros digitales portátiles marca Vaisala HMI 31 W / HMP 35, con un tiempo de respuesta de 5". Los registros se realizaron en forma trididurna (9:00hs, 15:00hs y 21:00hs), durante 6 días por estación climática según programa de mediciones preestablecido (Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, 1997), a 2,00m sobre el nivel del suelo.

MÉTODO DE OBTENCIÓN DE DATOS URBANÍSTICOS

Cada punto de medición se adoptó en el centro geométrico de un nodo urbano representativo del área estudiada (Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, 2001). Para contar con datos actualizados al año 2005, los nodos fueron graficados en base a fotografías aéreas realizadas por la Unidad Ejecutora. Se ejecutaron además relevamientos in situ de alturas de edificación. La información fue incorporada a la base digitalizada y georeferenciada del parcelamiento y edificación de la ciudad de San Juan.

PROCESAMIENTO DE DATOS

- **Climáticos:** Con las estadísticas meteorológicas fijas, se calcularon los valores estivales e invernales diarios máximos, mínimos y promedio año a año de cada variable estudiada, para el área urbana y la no urbana. Con la estadística de mediciones itinerantes, se modelizó la distribución espacial según cada eje cardinal con origen en el baricentro urbano y finalización en la periferia. Se ejecutaron isotermas e isohumas urbanas; las primeras con equidistancias de 0,5°C y la segunda de 0,5%. Se modelizó cada variable en perfiles de la ciudad coincidentes con los ejes baricéntricos.
- **Urbanísticos:** Con un software de georeferenciación se calcularon para cada nodo urbano representativo, los índices urbanísticos de Factor de Ocupación del Suelo (FOS en %), Densidad Edilicia (DE en m³/Ha) y Canopia Urbana (CU en m). Se ejecutaron isóneas en el plano horizontal de cada índice con equidistancias de: 5% FOS; 500 m³/Ha DE y 0,5m

de CU; y se modelizó cada índice en perfiles espaciales de la ciudad en el plano vertical, coincidentes con los ejes baricéntricos.

RESULTADOS

a) CLIMÁTICOS

- **Análisis Histórico**

La evolución temporal año a año de temperatura de bulbo seco se muestra en la Figura 1 (a y b) y la humedad relativa en la Figura 2 (a y b). En ambos casos se presenta la recta de ajuste de las máximas, medias y mínimas.

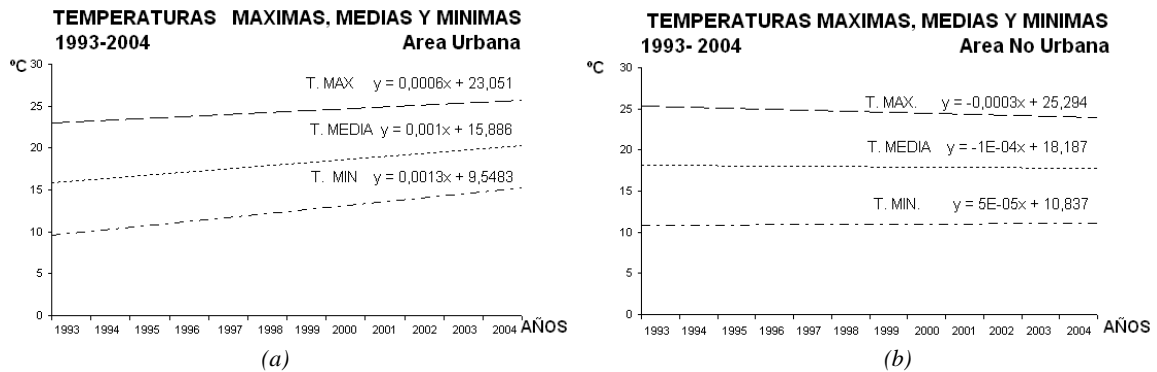


Figura 1: Evolución de la temperatura promedio diaria: máxima, mínima y media. Areas Urbana y No Urbana

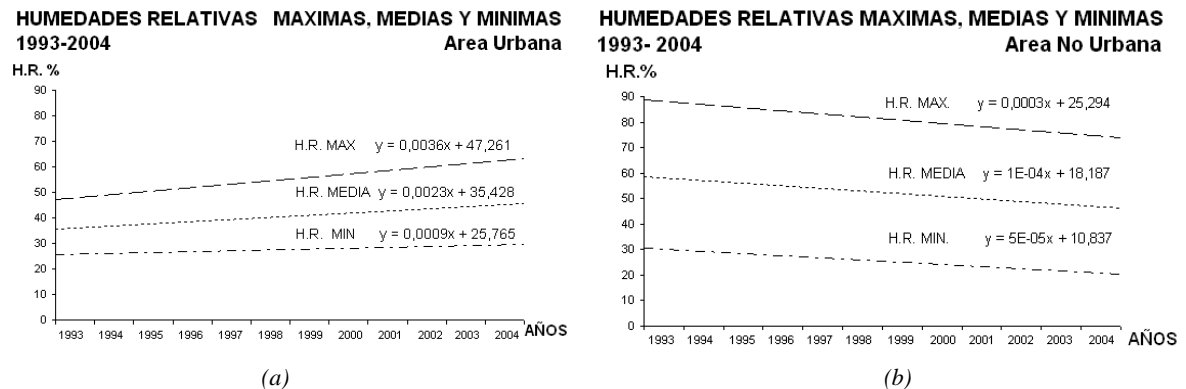


Figura 2: Evolución de la humedad relativa promedio diaria: máxima, mínima y media. Areas Urbana y No Urbana

En el Área No Urbana se han producido en los últimos 12 años disminuciones de los valores **promedio diarios** tanto de temperatura como de humedad relativa: la humedad relativa promedio descendió de 58,6% a 46,4% y la temperatura 0,4°C, (de 18,2 °C a 17,8 °C). Los valores máximos de temperatura también han experimentado una disminución de 1,3°C (de 25,3 °C a 24,0 °C), a diferencia de los mínimos que aumentaron 0,3°C (de 10,8 °C a 11,1 °C). La humedad relativa máxima disminuyó de 88,9% a 74,0%; la mínima de 30,7% a 20,6%.

En el Área Urbana, la situación ha sido inversa: en los últimos 12 años la temperatura se incrementó en promedio 4,4°C (de 15,9 °C a 20,3 °C). y la humedad relativa aumentó de 35,4% a 45,5%. De igual manera los valores máximos y mínimos diarios de temperatura experimentaron aumentos de 2,6°C (de 23,1 °C a 25,7 °C) y 5,7°C (de 9,6 °C a 15,3 °C) respectivamente. La humedad relativa aumentó: la máxima de 47,3% a 63,0% y la mínima de 25,8% a 29,7%.

- **Análisis Espacial**

En la actualidad la ciudad presenta mayor desarrollo hacia el OESTE, con una longitud de 7,30km lineales desde el centro urbano. En esa dirección en verano el incremento de temperatura en el Área Urbana respecto al Área No Urbana (ΔT_{U-NU}) es de 2,6°C mientras que para invierno el ΔT_{U-NU} es de 1,5°C; la disminución de humedad relativa (ΔHR_{U-NU}) tanto para invierno como para verano es de 3,1%.

El sector SURESTE representa el de menor ocupación espacial urbana con una longitud de 2,98km lineales desde el centro urbano; en esa dirección los valores registrados fueron: Verano, ΔT_{U-NU} : 3,5°C; ΔHR_{U-NU} : -6,9%. Invierno, ΔT_{U-NU} : 1,9°C; ΔHR_{U-NU} : -3,9%.

b) URBANÍSTICOS

• **Análisis Histórico**

En el año 1990 la ocupación territorial del Gran San Juan era de 64,7 km² (Papparelli, Kurbán, Cúnsulo M., 1994); en 1995 de 76,9 km² (Papparelli, Kurbán, Cúnsulo M., 2001); en 2000 de 88,7 km² (Ríos, Papparelli, 2001). Esta evolución histórica se muestra en la Figura 3.

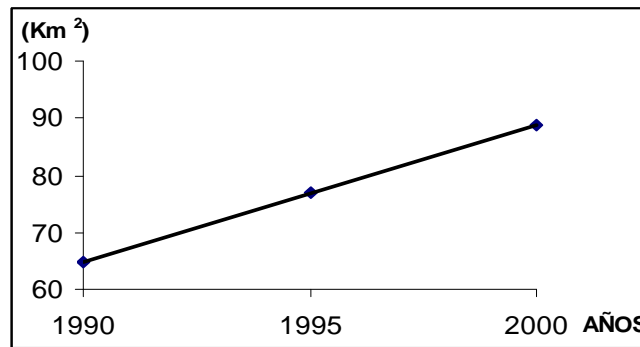


Figura 3: Evolución quinquenal de la planta urbana del GSJ en el período 1990-2000

• **Análisis Espacial**

Los índices urbanísticos promedio calculados para el área central del Gran San Juan y para su límite no urbano son a Julio del 2005 los siguientes (Figura 4 a y b):

- **Área Urbana Central:** Factor de Ocupación del Suelo (FOS): 77,9%; Densidad Edilicia (DE): 79.792,7m³/Ha
 En los años 1990, 1995 y 2000 los valores fueron (Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M., 1994, 2001; Ríos E., Papparelli A., 2001):

- Año 1990 FOS: 76,0 %; DE: 72.686 m³/Ha
- Año 1995 FOS: 77,1%; DE: 77.235 m³/Ha
- Año 2000 FOS: 77,5%; DE: 78.384 m³/Ha

- **Límite Área Urbana:** Factor de Ocupación del Suelo: 4,3%; Densidad Edilicia: 1.531,9m³/Ha

En los años 1990, 1995 y 2000 los valores fueron (Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M., 1994, 2001; Ríos E., Papparelli A., 2001):

- Año 1990 FOS: 3,75 %; DE: 1.135,9 m³/Ha
- Año 1995 FOS: 4,90%; DE: 1.523,5 m³/Ha
- Año 2000 FOS: 4,90%; DE: 1.336,5 m³/Ha

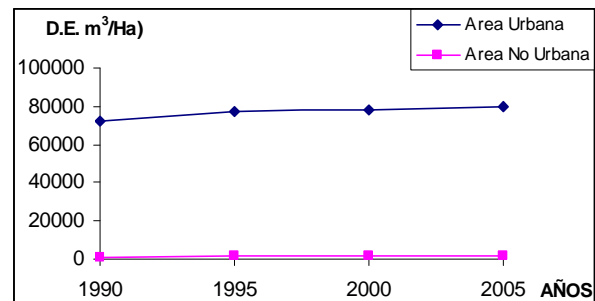
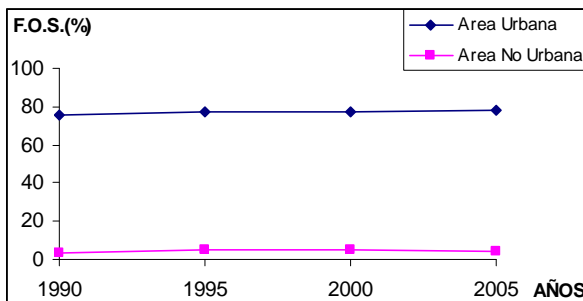


Figura 4: Evolución quinquenal de FOS y DE en el período 1990-2005

CONCLUSIONES

Entre los años 1990-2000, la superficie del área urbana del Gran San Juan se incrementó 24,0 km² lo cual equivale a un 37,1%.

En el período 1990-2005 el Factor de Ocupación del Suelo en el Área Urbana central aumentó de 76% a 77,9% (1,9%) lo cual equivale a un 4,5% y la Densidad Edilicia se incrementó en 7.107 m³/Ha, es decir aumentó un 8,9%.

Las condiciones higrotérmicas de la ciudad han acompañado ese aumento incrementándose la temperatura promedio urbana de 15,9°C (año 1993) a 20,3°C (año 2004), es decir en un 27,7%. Asimismo la humedad relativa promedio en los mismos años aumentó de 35,4% a 45,5% representando un incremento del 28,5%.

En el período 1993-2004 la temperatura no urbana descendió 0,4°C; ello indica que, considerando las condiciones climáticas macroescalares, el aumento citado de 4,4°C de la temperatura urbana arroja un *incremento neto* de 4,8°C.

Durante el mismo período la humedad relativa no urbana descendió 12,2%; considerando las condiciones climáticas macroescalares, el aumento citado de 10,1% de la humedad relativa urbana significa un *incremento neto* de 22,3%.

Relacionando estas variaciones con las modificaciones urbanas producidas, se concluye que:

- por cada kilómetro cuadrado de aumento de la planta urbana, la temperatura se incrementó 0,20°C y la humedad relativa 0,93%.
- Por cada 1% de aumento de FOS, la temperatura se incrementó 2,53°C y la humedad relativa 11,74%
- Por cada metro cúbico por hectárea de aumento de DE, la temperatura se incrementó 0,00068°C y la humedad relativa 0,0031%

Lo anterior sugiere una mayor influencia de la extensión territorial de una ciudad en los procesos de calentamiento urbano, por sobre su densificación volumétrica.

Como complemento al presente estudio, en la actualidad se están calculando y analizando los índices urbanísticos de cada Banda Urbana Característica (Papparelli, Kurbán Cúnsulo, 2003), actualizados al año 2005, para cuantificar la correlación espacial entre el aumento de masa térmica y ocupación territorial, con el gradiente de temperatura y humedad relativa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por el personal técnico meteorológico del INTA Pocito - San Juan, en la provisión de la estadística meteorológica necesaria para la realización del trabajo.

REFERENCIAS

- Area Arquitectura Ambiental (2004) Estadística climática: Estación meteorológica fija en Area Eminentemente Urbana. Años 1993/2004. San Juan.
- INTA-Pocito (2004) Estadística Climática Pocito, Años 1993/2004. San Juan.
- Oke, T.R. (1973) City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7.
- Papparelli, A., Kurbán, A. y Cúnsulo M. (1994), Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan. Vol. 50 Ejemplares - Edit. G.M.A. (FAUD-UNSJ).
- Papparelli, A., Kurbán, A. y Cúnsulo M. (2005) Resultados Preliminares Proyecto de Investigación Triannual: "Efectos de la Edificación en la variación histórica espacial del Clima Urbano en Zona Arida" UNSJ.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. (1997) Correlación entre Isotermas e Isohumas urbanas con Bandas Urbanas Características de la Ciudad de San Juan. Actas en CD del *Congreso AMBIENTAL'97*.
- Papparelli, A., Kurbán, A. y Cúnsulo M. (2001), Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan. Vol. 100 Ejemplares - Edit. G.M.A. (FAUD-UNSJ).
- Ríos, E., Papparelli, A. (2001) Informe Final Proyecto de Investigación Beca CICITCA-UNSJ. FAUD
- Rusticucci, M., Barrucand, M. (2004) Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of Climate*. American Meteorological Society

ABSTRACT: The work shows partial results of a triannual research project which objective is to determine the modification of the urban temperature and relative humidity as related with its outlying natural environment. A 12 year-old statistic (1993-2004) is used and the daily, maximum, average and minimum evolution in a city of arid zone (Great San Juan) and its adjacent area is analyzed. This higrothermical behavior is related with the urban index of the Urban and Not Urban Areas, inferring reciprocal correlations. The 12-year results shows in the Non Urban Area a decrease for the the temperature of 0,4°C and of 12,2% for the relative humidity; in the Urban Area it was registered an increase of 4,4°C and 10,1% respectively. In that period the area occupied by the city increased 37,1%, the Land Occupation Factor 4,5% and the Building Volume 8,9%. The conclusions suggest a bigger influence of the territorial extension of a city in the processes of urban heating, respect to the building volume.

Keywords: urban climate; building volume; higrothermical variation; urban heat island.