

MODELACIÓN DEL VERDE URBANO EN LA CIUDAD DE MENDOZA Y SU RELACIÓN CON LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

¹Fabian R. Bochaca, ²S. Enrique Puliafito, ³David Allende

CONICET / Universidad Tecnológica Nacional / GEAA Grupo de Estudios Atmosféricos Ambientales
(fbochaca@nysnet.com.ar), (epuliafito@frm.utn.edu.ar), (allendedavid@gmail.com)

RESUMEN Los complejos y dinámicos procesos de crecimiento urbano, que dan como resultado la aparición del efecto de isla de calor e isla seca, requieren desarrollar estudios que no solo identifiquen y describan estos fenómenos, sino que, por el contrario, permitan adelantarse a estos sucesos, en especial en ambientes con climas desérticos. Este trabajo abarca la modelación del comportamiento de la humedad relativa y del movimiento de masas de aire caliente de sectores vegetados en la ciudad de Mendoza. Esta investigación no solo muestra un nuevo enfoque en lo concerniente a la modelación de las variaciones climáticas urbanas de temperatura y humedad relacionada con las áreas verdes a través de la simulación de diferentes escenarios urbanos, sino que, intenta contribuir en la construcción de una idea conceptual que explique las principales interacciones entre los elementos vegetados y construidos en el desarrollo de los efectos de isla de calor e isla seca.

Palabras claves: Isla de calor, isla seca, planificación de áreas verdes, regulación de temperatura y humedad, cambio climático urbano.

INTRODUCCIÓN

Los procesos urbanos que dan origen a la formación del fenómeno de isla de calor están extensamente estudiados en lo concerniente a su formación y desarrollo (Rosenfeld, et al., 1995). Estos estudios analizan como se incrementa la temperatura en zonas donde existe una mayor exposición de superficies horizontales construidas a sol directo durante el día con un alto grado de absorción de radiación y con bajo albedo. A su vez, estos trabajos coinciden con estudios que analizan los materiales que componen primordialmente el tejido urbano, como es el asfalto, material que poseen un albedo que, en una superficie nueva puede llegar a 0.05, lo que significa que absorbe alrededor del 95% de luz del sol (Pomerantz, et al., 2003; Akbari, et al., 2001). Por otra parte, estos fenómenos toman relevancia si consideramos que tan sólo calles y avenidas en áreas urbanas cubren más del 25% y que en su mayoría están compuestas por estos tipos de materiales (Shashua-Bara y Hoffman, 2003). Siguiendo la misma línea de investigación existe un extenso estudio de la influencia de las áreas verdes en cuanto a la regulación de los efectos de isla de calor e isla seca, (Jáuregui, 1991, 1997; Upmanis, et al., 1999; Barradas Víctor L., et al., 1999; Chiesura Anna, 2004). Uno de los aspectos más desarrollados en este sentido, profundiza en los beneficios producidos por la proyección de la sombra de la vegetación urbana, que de acuerdo a las características morfológicas de la especie, densidad del follaje y orientación, pueden reducir hasta un 80% de la irradiación en superficies verticales y horizontales (Heisler, 1986; Shashua-Bar y Hoffman, 2000; Kjelgren Roger y Montague Thayne, 1998). A su vez, existen algunos estudios que analizan el incremento o disminución de humedad que el vegetal realiza, dando origen a la aparición del efecto “urban dry island” (efecto de isla seca), denominado también durante la noche “urban moisture excess” y “urban moisture deficit” durante el día. Este fenómeno establece una relación directa entre la disminución de humedad y el aumento de temperatura que se produce en áreas urbanas. (Charciarek, 2001; Bochaca y Puliafito, 2007) y presenta también una estrecha relación con la aparición del efecto de isla fría (Jáuregui, 1991; Shashua-Bar y Hoffman, 2000), y en la regulación de la temperatura de las zonas urbanas contiguas a estas áreas verdes (Bochaca y Puliafito, 2007). Sin embargo la prevención de estos fenómenos en el tiempo a través de la consideración de modelos que permitan analizar la real influencia de las áreas verdes y su comportamiento, no han sido profundamente explorados. La simulación de diferentes escenarios urbanos permite diseñar estrategias enfocadas a remediar los problemas ambientales que el crecimiento de las ciudades origina (Tanimoto et al., 2004).

Por otra parte, la información que se puede construir con el manejo de diferentes escenarios constituye una importante herramienta para investigadores y planificadores urbanos en la predicción del comportamiento de la temperatura y la humedad en sectores urbanos ya que permiten la interpretación de complejos procesos y de sus efectos (Yang, 2000; Assimakopoulou; et al, 2006, Hamlyn y Rex, 2005).

¹ Becario Post doctoral de CONICET

² Investigador Independiente de CONICET

³ Becario de formación Doctoral de CONICET

Este trabajo, presenta una modelación de la temperatura y humedad y analiza la relación de estas áreas con respecto a los entornos construidos que lo rodean. Las modelaciones efectuadas tienen como objetivo simular en primer lugar las emisiones de humedad y el comportamiento de masas de aire caliente, y en segundo término representar diferentes escenarios en sectores vegetados típicos de la ciudad, variando el porcentaje de áreas verdes.

Para la calibración del modelo, se efectuaron primeramente una serie de mediciones de temperatura y humedad en tres recorridos móviles en la ciudad de Mendoza en los veranos de 2004 y 2005 desde el amanecer hasta el anochecer. Los recorridos comprendían los horarios de madrugada de 5:30 a 7:30, del mediodía en horarios de 14:30 a 16:30 y el último horario cercano a las 20:30 horario donde el sol ya había descendido y la radiación solar no incidía de manera directa sobre las superficies horizontales en el área urbana. Estas mediciones tuvieron la finalidad de comprender el comportamiento de las áreas verde dentro de la ciudad en cuanto a variaciones de temperatura y humedad, y, en segundo lugar analizar la relación entre los efectos de isla de calor e isla seca en el borde urbanizado próximo a estas áreas, y en tercer término identificar como estos efectos se extendían hacia el núcleo de la ciudad más densamente urbanizado. Paralelamente, se efectuaron mediciones en diferentes tipos de vegetación con la intención de poder representar el aporte diferencial de humedad relativa y absoluta de las áreas verdes. Una vez obtenido los datos de las diferentes mediciones se procesaron para obtener un perfil de temperatura y humedad y utilizarlo como base para la modelación de las áreas verdes.

Debido a que los diferentes modelos típicos de dispersión no tienen incorporado una tipología de simulación de temperatura se seleccionó un gas que por sus características nos permitiera representar el comportamiento de masas de aire caliente. Para esta modelación se utilizó el CO₂ ya que es lo suficientemente estable, no reacciona y no se deposita lo que significa que permanece inalterable por largo tiempo. En segundo lugar, este gas es considerado como uno de los principales en el incremento del efecto invernadero y posee indirectamente una relación con el comportamiento de la temperatura en áreas urbanas. Su aumento se encuentra asociado a sectores urbanos con mayor crecimiento (Koerner B., Klopatek J., 2002). Con respecto a la humedad, una vez obtenido el dato real a comparar y a modelar, representativo de los sectores urbanos y de diferentes especies vegetales, se calculó el vapor de agua en un volumen determinado de aire y su conversión a humedad relativa esta dada por la aplicación de diferentes coeficientes de temperatura y humedad.

IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

El sistema de modelado seleccionado, fue CALPUFF (Scire, et al, 2000), este utiliza tres componentes o módulos: CALMET, como pre procesador meteorológico que desarrolla campos grillados de temperatura y velocidades de viento, CALPUFF, como modelo de dispersión y transporte que genera "puffs" o soplos de material emitidos por las fuentes y CALPOST, utilizado como post procesador de datos que tabula los resultados de la simulación. Para su funcionamiento se utiliza una Interfaz Gráfica que prepara un archivo de control que configura cada corrida, ejecuta cada componente del modelo y conduce las funciones de manejo de archivos. El programa permite el análisis de dispersión de contaminantes, a gran escala (de 50 a 200 km de la fuente), la inclusión de una topografía compleja, y también la aplicación en escalas locales donde existen variaciones en las condiciones meteorológicas, bajas velocidades de viento, recirculaciones ó estancamientos y modificaciones conforme al tipo de terreno, características éstas que se reproducen en la periferia de las áreas verdes urbanas. Otro aspecto importante del modelo de dispersión, es que permite elaborar información completa hora a hora, aspecto que resultó de vital interés si consideramos que las variaciones de humedad en las áreas verdes son muy dinámica de acuerdo a la hora del día, tal como pudimos observar en las mediciones móviles en la ciudad de Mendoza, en especial en el Parque San Martín. El espacio físico que se utilizó para correr el modelo se basa en una grilla geo referenciada que corresponde a un área de 42 km por 63 km, e incluye el terreno desde los 68.7° O de longitud hasta 69° O y latitudes entre 32.6° S y 33° S. Para el análisis se selecciono una grilla de 350 por 350 metros con la intención de tener una mayor definición del sector en estudio. La definición de las áreas urbanas y sus tasas de emisiones se obtuvieron de Puliafito et al. (2003) y de Puliafito y Allende (2007).

ANÁLISIS DE ESCENARIOS EN LA CIUDAD DE MENDOZA

Escenario Base, calibración del modelo

El primer escenario de la modelación simula el comportamiento de temperatura y humedad relativa obtenido en las mediciones móviles. Esta primera corrida calibrada se utilizó como base para el análisis de los diferentes escenarios posteriores. De las tres mediciones móviles efectuadas a lo largo del Gran Mendoza, el recorrido seleccionado fue el perfil de la madrugada, ya que en este horario se manifiesta de manera más acentuada la eliminación de calor y el aporte de humedad de las diferentes áreas. Adicionalmente, en este horario las

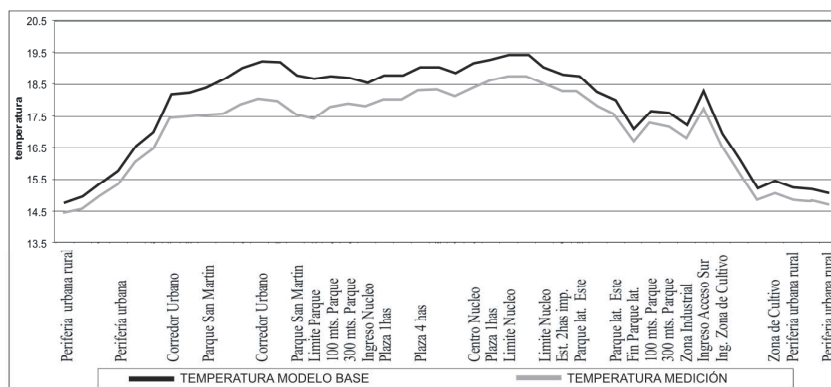
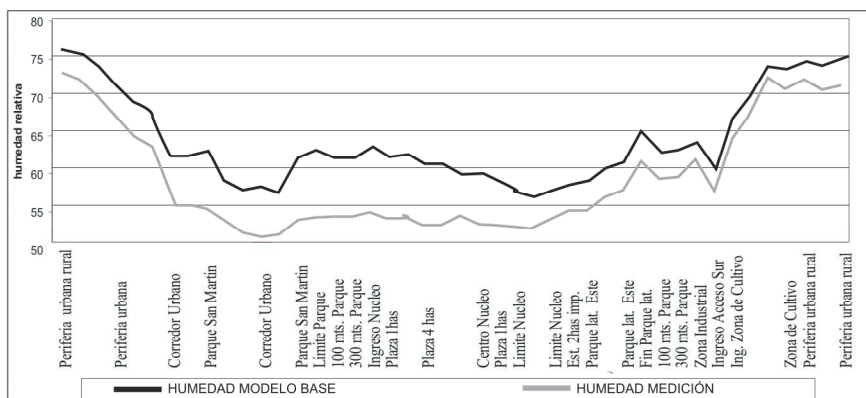


Figura 1: Comparación de temperatura entre perfil de medición y perfil de modelo

variaciones de temperatura y humedad se manifiestan más estables, ya que todavía no existe ninguna incidencia del sol. En la simulación de la humedad relativa se obtuvo una exactitud del 97% y una precisión del 96%.

La Figura 1 y 2 muestran una comparación entre los perfiles transversales de temperatura (fig. 1) y humedad (fig. 2) promedio obtenido de las mediciones móviles para los veranos 2004 y 2005, en el horario de la madrugada, y el perfil obtenido para los mismos puntos por el modelo. En esta comparación se puede apreciar que el modelo repite prácticamente el perfil de la medición salvo en



determinados puntos ubicados hacia la periferia que registran una leve variación. Las variaciones entre los perfiles medidos y simulados se pueden atribuir a incertidumbre en los equipos de medición, variaciones entre las campañas y a las propias del modelo, tales como la definición de áreas, factores de emisión, parámetros meteorológicos, entre otros.

Figura 2: Comparación de humedad relativa entre perfil de medición y perfil de modelo

El rango de incertidumbre obtenido fue de 1 a 2,5 % para la humedad, y de 0,25° C a 0,50° C para la temperatura. Lo expuesto, explica la leve diferencia entre la temperatura modelada y la medición. Básicamente, el modelo simula el comportamiento del perfil urbano correspondiente a la madrugada. Estos valores nos indican un nivel adecuado de ajuste entre el perfil medido y modelado.

Primer Escenario

El primer escenario consistió en comparar la situación actual (real) con el caso de reemplazar 350 hectáreas de parque por un área equivalente construida del tipo residencial clase media y estudiar los efectos de cambios de temperatura y humedad en su entorno. Esta modelación tenía por finalidad percibir cuales eran los cambios de temperatura y humedad al reemplazar estas áreas y observar la influencia que generaban sobre el sector urbano su eliminación.

Se seleccionó un área representativa de la Ciudad de Mendoza como es el Parque General San Martín con su entorno urbano. Este parque cuenta con una superficie verde aproximada de 350 hectáreas totalmente vegetada. (Figura 3). De esta manera el sector seleccionado nos permitió analizar el comportamiento de las áreas forestadas artificialmente y de sectores con vegetación autóctona con el sector urbano.

En este escenario puede valorarse que la eliminación del parque genera una leve variación tanto en temperatura como humedad que no supera en su punto más acentuado las 0,5° C y con respecto a la humedad no sobrepasa del 8%. Si bien en este escenario se pudo apreciar una leve variación de la temperatura del parque, ella se encontraba muy cercana o dentro del rango de incertidumbre de 0,25 a 0,5° C, lo que dificultaba apreciar si las variaciones en el comportamiento del modelo se debían al cambio de superficies o si solamente correspondían al rango de incertidumbre. Con respecto a la humedad, las variaciones arrojadas estaban por encima del rango de incertidumbre de 1 a 2,5 % y, en sus puntos más críticos se evidenciaban una disminución de un 4 % de humedad relativa (Figura 4, 5).

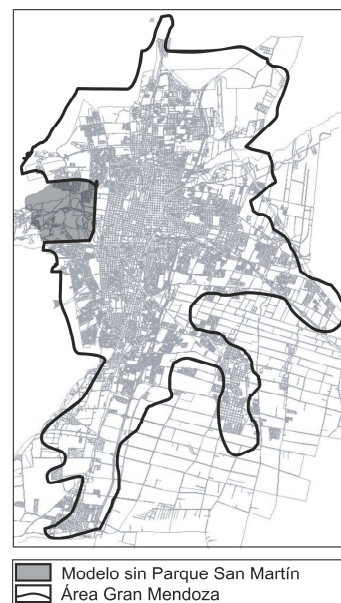


Figura 3: Primer escenario c/ reemplazo del parque San Martín.

Por otra parte, en este primer escenario se pudo apreciar un dato relevante relacionado con el comportamiento del parque de acuerdo a sus dimensiones y a su orientación con respecto a los vientos. Como hemos marcado en la Figura 4 y 5, se puede observar claramente que aún después de eliminar el parque San Martín, seguían apareciendo en los gráficos las mismas pendientes de humedad y temperatura, lo que nos daban indicios de la posible superposición de otro efecto. De acuerdo a la ubicación del parque en el pie de monte existía la posibilidad de que este fenómeno se originara por dos factores. En primer lugar, debido a que en los horarios nocturnos los movimientos de aire o las pequeñas brisas que se generan de acuerdo al efecto valle-montaña provienen del Sur-Oeste y las dimensiones del parque no alcanzan a interceptarlo. En segundo lugar, si bien el área correspondiente al parque tiene una dimensión importante, su influencia queda tapada por otra más acentuada la del pie de monte, a través del efecto valle montaña, que, a pesar de resultar más intenso en la noche, continúa durante la madrugada.

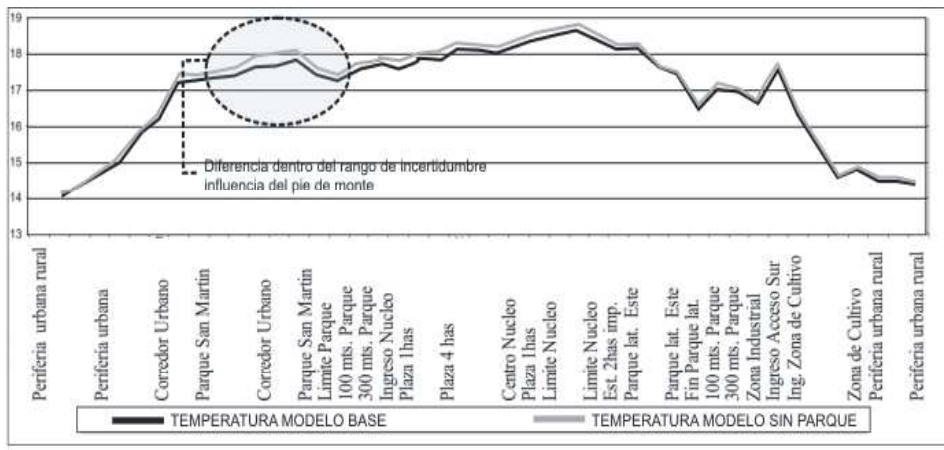


Figura 4: Modelación de temperatura sin Parque San Martín con urbanización media

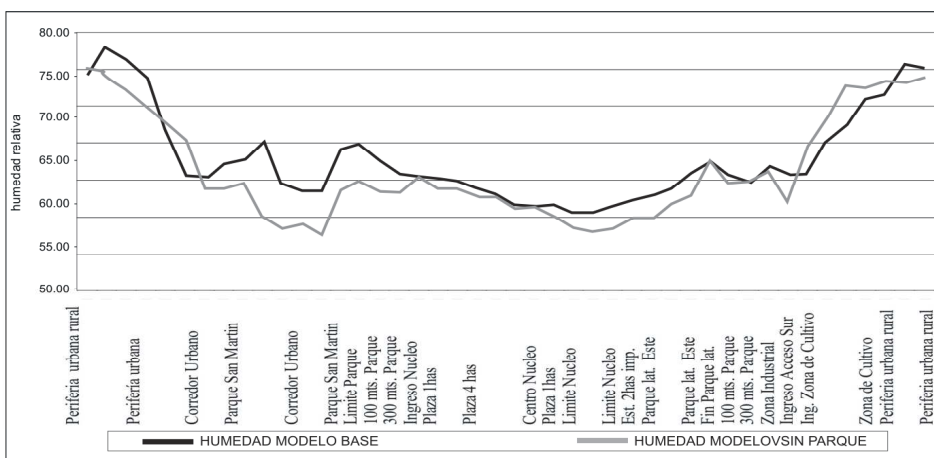


Figura 5: Modelación de humedad sin Parque San Martín con urbanización media

Segundo Escenario

El segundo escenario consistió en ampliar la zona urbanizada, actualmente formada por parque y pie de monte. La superficie vegetada reemplazada, tanto xerófito como de parque, responde prácticamente a 3,5 kilómetros cuadrados (3.500.000 m²) que envuelve al parque casi en su misma extensión (Figura 6). Este escenario se planteó debido a que las variaciones de temperatura de nuestro primer modelo se encontraban próximas al rango de incertidumbre y que la leve variación en la pendiente del modelo podría estar producido por la superposición de otro efecto de mayor escala. En él, se optó no solo por eliminar y reemplazar el parque sino también gran parte del pie de monte por superficie urbanizada continuando con la misma tipología de urbanización colindante al Parque. Este sector se encuentra edificado aproximadamente con una densidad del 60% de superficies construidas y posee una altura que en promedio no supera los 10 metros.

Como resultado de esta modelación se observó un incremento considerable del perfil del modelo inicial con respecto a la variación de la humedad y consecuentemente de la temperatura. Dando como resultado, variaciones que oscilaban en promedio en un 8% de humedad relativa por debajo del modelo base en su punto más crítico y variaciones de temperatura de aproximadamente 1,5° C por encima del modelo base, las variaciones más significativas se pueden apreciar en el sector del parque y contiguo a éste (Figura 7 y 8). De este modo se pudo evaluar, la existencia del efecto proveniente del pie de monte que se superponía por sobre el del parque. Su existencia se verifica si observamos en los gráficos de humedad y temperatura el cambio en el perfil urbano.

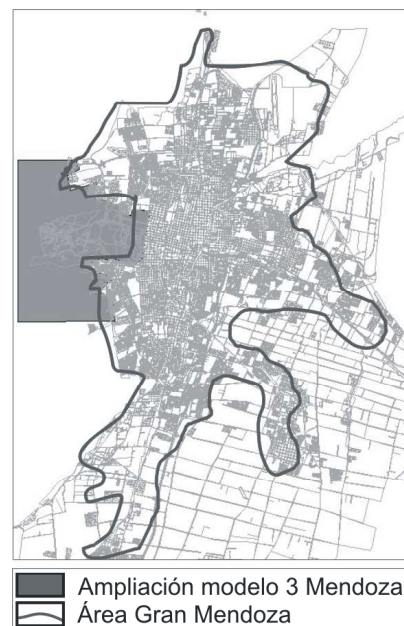


Figura 6: Segundo escenario incremento de áreas construidas sobre el pie de monte.

En los sectores que corresponden a las áreas urbanas contiguas comienza a variar el comportamiento incrementando la temperatura y evidenciando la aparición de un incipiente domo de isla de calor.

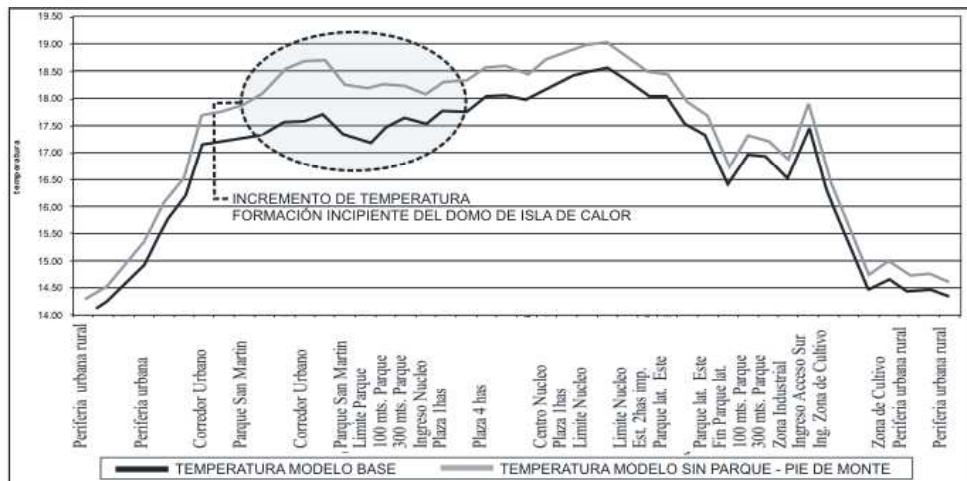


Figura 7: Modelación de temperatura sin Parque ni Pie de monte comparación con modelo base

Con respecto a la humedad se observa un comportamiento similar en estos sectores. La humedad comienza a disminuir evidenciando una depresión de humedad o efecto de isla seca. En este modelo, es importante mencionar que el incremento de temperatura tiene una incidencia que se extiende prácticamente hasta el borde del núcleo urbano, cercano a los 1100 metros lineales, a partir de esa distancia las diferencias comienzan a aproximarse al rango de incertidumbre cercano a los 0,4° C.

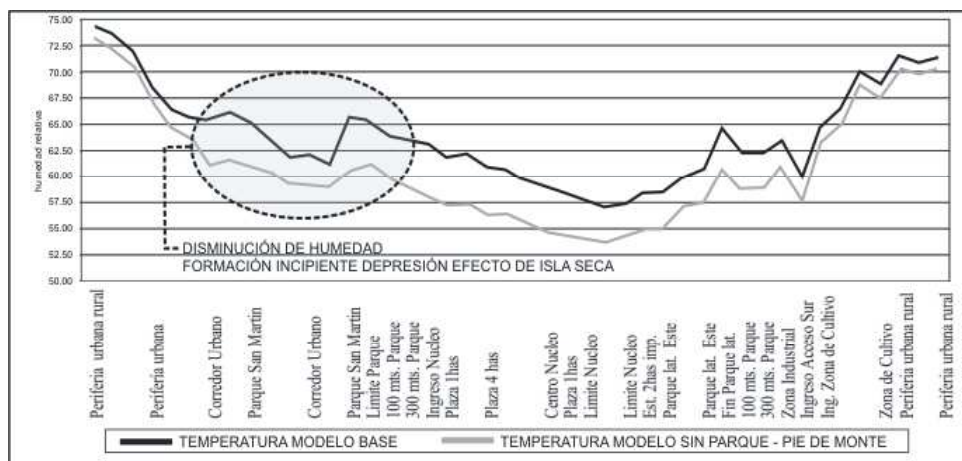


Figura 8: modelación de humedad sin parque ni pie de monte comparación con modelo base

Este segundo escenario planteado verifica como válidos los resultados del modelo anterior ya que si observamos el perfil en el sector que corresponde al parque éste no solo mantiene su pendiente sino que acentúa su intensidad. A su vez, se puede distinguir la superposición del efecto de isla fría que produce el pie de monte y que se extiende hacia el área urbana.

Tercer Escenario

Por último, habiendo verificado el comportamiento del parque y el pie de monte, planteamos un tercer escenario, donde utilizamos la misma superficie del segundo modelo, pero incrementamos la densidad de urbanización con características similares a las del micro centro. Este sector a diferencia del sector anterior posee una densidad de edificación cercana al 90% en relación con las superficies vegetadas y una altura que en promedio alcanza los 20 metros de altura.

Este modelo se planteó con la intención de confirmar el comportamiento que originaba el pie de monte y el parque. La elección de seleccionar el área limítrofe del parque hacia el pie de monte e incrementar su densidad edilicia, responde a discusiones actuales relativas al uso del suelo, y estudiar los posibles impactos sobre el resto del área urbana ya consolidada, siendo el cambio del confort climático un tema de interés ciudadano.

En este escenario, dominado por superficies impermeabilizadas, se puede percibir un nuevo incremento de la temperatura de prácticamente 2° C en los puntos más críticos ubicados en el parque y en los sectores contiguos. Con respecto a la humedad se observó una disminución cercana a los 10 %. Además, se pudo observar el aumento en intensidad y extensión del

incipiente domo de temperatura que se había formado en la modelación anterior sobre el núcleo urbano y la depresión que se origina producto de la disminución de la humedad en estos sectores (Figura 9 y 10).

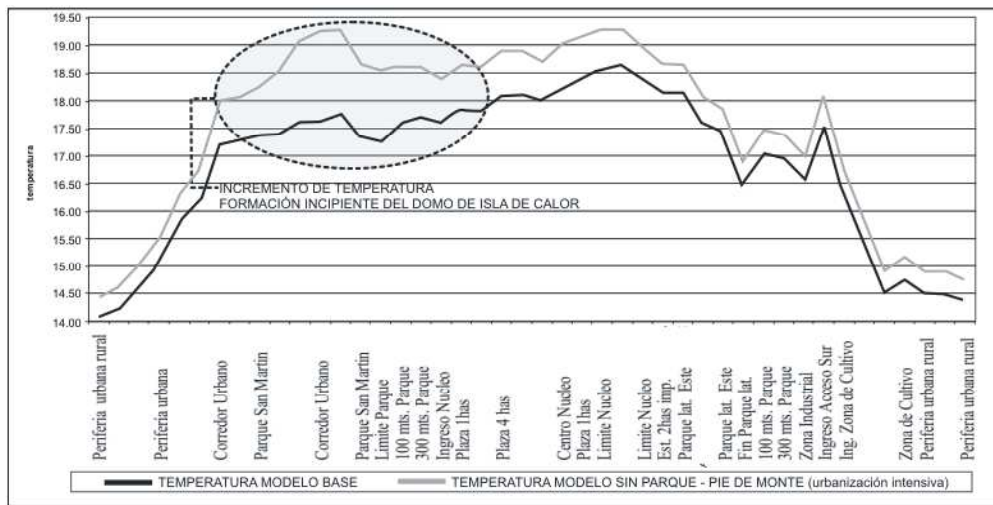


Figura 9: Modelación de temperatura sin Parque ni Pie de monte con urbanización intensiva.

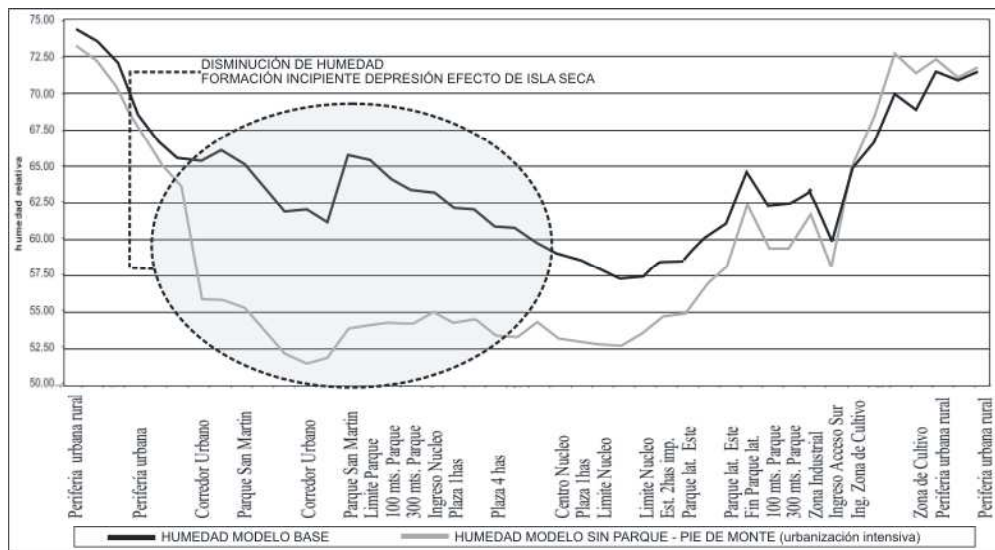


Figura 10: Modelación de humedad sin Parque ni Pie de monte con urbanización intensiva.

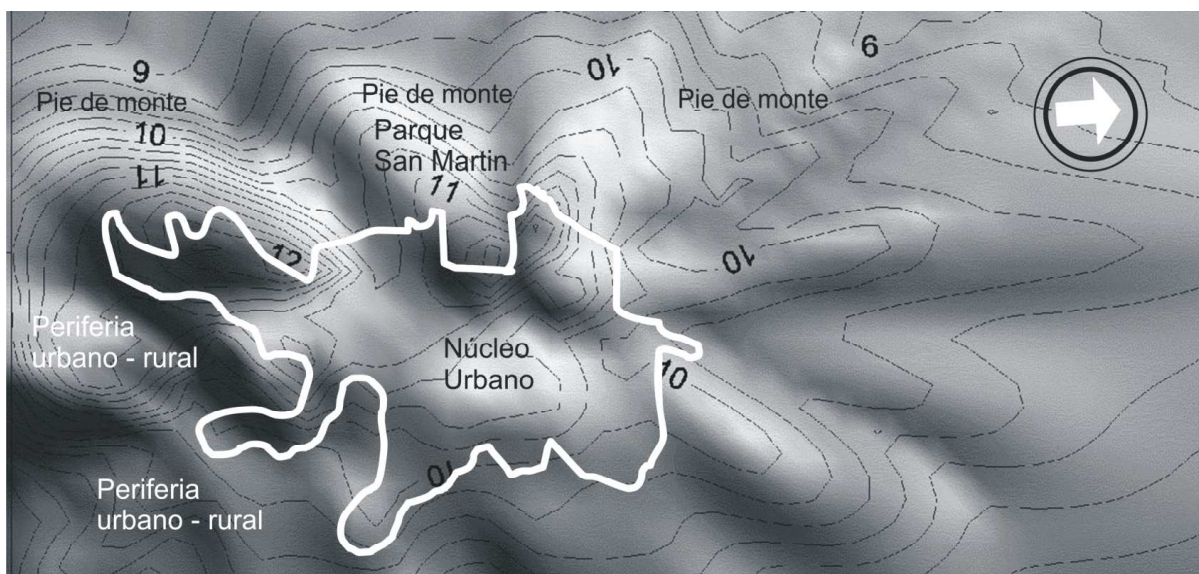
Este incremento de la medición anterior tiene una extensión más pronunciada y desfasada hacia el centro de la ciudad que se mantiene en promedio en los 0,8° C, y su extensión llega a los 1300 metros aproximadamente.

Modelo con Receptores Grillados

Por último, se efectuó un modelo con los receptores grillados. La intención de utilizar la grilla en su totalidad respondió, principalmente, a generar un modelo de la ciudad en el cual se pudieran valorar las variaciones de humedad relativa en una escala local en 3 dimensiones, (Figura 11). En este modelo, puede apreciarse la incidencia del viento en sentido suroeste, a través de las plumas que se generan hacia esa dirección.

En la Figura 11 se puede estimar la humedad relativa de las diferentes áreas vegetadas, principalmente, de la periferia urbana y del Parque San Martín. Las áreas gris oscuro y negro representan el mayor porcentaje de humedad relativa en el gradiente de colores cercano al 76 % y los colores gris claro y blancos equivalen a un porcentaje de 57% de humedad relativa. Los números distribuidos en el gradiente corresponden a valores de humedad absoluta, que coinciden con el patrón de colores de la humedad relativa. Estos valores, estimados de vapor de agua corresponden también a los valores registrados en los perfiles urbanos obtenidos en los modelos anteriores. A su vez, en este gráfico se evidencia claramente la aparición del efecto de isla seca a través de depresiones en el área urbana y se registra también la existencia del efecto de isla fría con la aparición de

domos de humedad repartidos en diferentes sectores de la ciudad, alejados del núcleo de la ciudad. En este gráfico, se puede observar también, la extensión de estos efectos sobre sus áreas contiguas, a través del cambio de color en el gradiente de humedad.



CONCLUSIONES DE LA MODELACIÓN URBANA EN LA CIUDAD DE MENDOZA

A través de la utilización de un modelo de dispersión y de los escenarios propuestos, hemos comprendido el comportamiento de las áreas verdes insertas en su entorno urbano. Se reconoció el efecto de isla fría producido por el parque, donde identificamos la influencia de dos procesos, con características diferentes, que intervienen sobre el entorno urbano. En primer lugar, se evidencia la influencia directa que tiene el Parque San Martín sobre el entorno urbano, que de acuerdo a nuestras mediciones móviles y a la validación de las mismas a través del modelo, posee un alcance que no supera los 300 metros, ya que más allá de esta distancia comienza a incrementarse la temperatura. Este espacio vegetado de aproximadamente 350 hectáreas origina una variación de temperatura de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$ por debajo del área urbana en horarios de madrugada. En segundo término, hemos podido apreciar la existencia de otro efecto de isla fría producido por el pie de monte que se superpone con el efecto del parque e influye sobre el sector urbano. Este efecto de isla fría posee un alcance mayor, que prácticamente interviene a escala local. El aporte de aire fresco nocturno contribuye a aumentar la humedad relativa.

En términos generales se podría determinar que el efecto de isla fría, en el caso particular del Parque San Martín, está compuesto por dos efectos de diferentes magnitud y alcance. Otro de los aspectos que hemos podido detectar está relacionado con el incremento de temperatura que el cambio de superficies vegetadas por impermeabilizadas origina sobre el entorno urbano. En una superficie cercana a los 3,50 kilómetros cuadrados el aumento de temperatura para una urbanización con una densidad edilicia media, como es el caso de la quinta sección, es de aproximadamente $1,5^{\circ}\text{C}$ y la disminución de la humedad es de un 8%. Para una urbanización con una densidad edilicia intensiva, como es el ejemplo utilizado del micro centro de la ciudad de Mendoza, el aumento de temperatura es cercano a los 2°C y la disminución de humedad está en el orden del 10%. Asimismo, este incremento de temperatura evidencia la aparición del efecto isla seca e isla de calor. Este último, se extiende desde el límite del sector modificado entre 1100 a 1300 metros dependiendo del tipo de urbanización. Si bien, las magnitudes de temperatura y humedad registradas en nuestro modelo muestran variaciones significativas de humedad y temperatura, al reemplazar el parque y parte del pie de monte por urbanización, ellas no deben ser consideradas datos definitivos. Es por ello que, para incrementar la precisión de nuestro modelo está previsto efectuar nuevas campañas de medición en diferentes cortes de la ciudad con el objeto de obtener nuevos datos que nos permitan detallar el modelo. Sin embargo, en un primer acercamiento, podemos identificar el comportamiento de los efectos de isla de calor e isla seca y el efecto de isla fría. Más aún, se ha podido identificar el comportamiento del parque y del pie de monte como una unidad que influye climáticamente sobre la ciudad, uno de los aspectos claramente detallado a partir del uso de este modelo.

Por lo expuesto, resulta significativo, considerar detenidamente los criterios de planificación que se han implementado y que se implementarán sobre el pie de monte, ya que esta zona interviene de manera activa en la regulación de la temperatura y la humedad en la ciudad, como otra área vegetada o no impermeabilizada. Actuando de manera individual y potenciando la influencia de las áreas vegetadas colindantes como es el caso del Parque General San Martín.

REFERENCIAS

- Akbari H., Pomerantz M. y Taha H. (2001). Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Improve Air Quality in Urban Areas, *Solar Energy* Vol. 70, no 3. Elsevier Science Ltd., pp. 295–310.
- Assimakopoulou M.N., Mihalakakoub G. y Flocasa H.A. (2006). Simulating the thermal behaviour of a building during summer period in the urban environment, *Renewable Energy*, Elsevier Science Ltd. Greece.
- Assimakopoulou M.N., Mihalakakoub G. y Flocasa H.A. (2006). Simulating the thermal behaviour of a building during summer period in the urban environment, *Renewable Energy*, Elsevier Science Ltd. Greece
- Barradas Victor L., Tejada Martinez Adalberto y Jáuregui Ernesto. (1999). Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City, *Atmospheric Environment* 33, 4109 – 4113.
- Bochaca Fabián R. y Puliafito Enrique S. (2007). Urbanization, Global Environmental Change, and Sustainable Development in Latin America, IAI, México DF, pp. 77-104.
- Charciarek Tomasz. (2001). Daily Course of Vapour Pressure and Relative Humidity Differences between Urban and Rural Site in Lodz, University of Lodz, Lodz, Poland.
- Chiesura Anna. (2004). The role of urban parks for the sustainable city, Elsevier Science Ltd., *Journal Landscape and Urban Planning*, N°68, pp. 129–138.
- Heisler Gordon M. (1986). Effects of Individual Trees on the Solar Radiation Climate of Small Buildings,- Printed in The Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V., *Journal Urban Ecology*, N° 9, pp. 337-359.
- Jauregui Ernesto. (1997). Heat Island Development in Mexico City, Printed in Great Britain, Elsevier Science Ltd., *Journal Pergamon Atmospheric Environment* Vol. 31, No. 22, pp. 3821-3831.
- Jauregui, E.O. (1991). Influence of a Large Urban Park on Temperature and Convective Precipitation in a Tropical City, *Energy and Buildings*, 15 – 16, Elsevier, pp. 457-463.
- Kjelgren Roger y Montague Thayne. (1998). Urban Tree Transpiration over Turf and Asphalt Surfaces, *Atmospheric Environment* vol. 32, Elsevier Science Ltd., pp. 35-41.
- Koerner B. y Klopatek J. (2002). Anthropogenic and natural CO2 emission sources in an arid urban environment, *Environmental Pollution* 116, Elsevier Science Ltd., pp. 45–51.
- Pomerantz M., Akbari H. y Chang S.-C., R. Levinson and B. Pon. (2003). Examples of cooler reflective streets for urban heat-island mitigation: Portland cement concrete and chip seals, Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL - 49283. <http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-49283>
- Puliafito, Enrique y Allende David. (2007). Emission patterns of urban air pollution. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, Colombia, N. 42. pp. 38-56.
- Puliafito Enrique; M. Guevara y C. Puliafito. (2003). Characterization of urban air quality using GIS as management system, *Environmental Pollution* Vol 122, pp 105-117.
- Rosenfeld Arthur, Akbari Hashem y Bretz Sarah. (1995). et al., Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates, *Energy and Buildings*, N° 22, Elsevier Science Ltd., pp. 255-265.
- Scire J.S., Strimaitis D.G y Yamartino R.J. (2000). A user's guide for the CALPUFF Dispersion model (Version 5.0). Earth Tech, Inc., Concord,.
- Shashua-Bar A L. y Hoffman M.E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Energy and Buildings* 31, Elsevier Science Ltd., pp. 221–235.
- Shashua-Bar Limor y Hoffman Milo E. (2003). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees, *Energy and Buildings* 35, Elsevier Science Ltd. pp. 61–68.
- Tanimoto Jun, Hagishima Aya y Chimkita Parichart. (2004). An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology, *Energy and Buildings* 36, Elsevier Science Ltd. Japan.
- Upmanis Hillevi y Chen Deliang. (1999). Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences—a case study of summer in Göteborg, Sweden, *CLIMATE RESEARCH* Vol. 13, pp.125–139.
- Yang Limin. (2000). Integration of a numerical model and remotely sensed data to study urban/rural land surface climate processes, *Computers & Geosciences* 26, Elsevier Science Ltd. pp. 451,468.

ABSTRACT: The complex and dynamic urban growth processes, which originate the heat island and dry island effect, require the development of studies which not only identify and describe these phenomena, but that also allow the forecast of these events, specially in arid environments. This study covers the modelling of the relative humidity behaviour and the air temperature of vegetated sectors in the city of Mendoza. The accomplished analysis not only shows a new focus on the modelling of urban climate variations of temperature and humidity related with green areas through the simulation of various urban sceneries, but also intends to contribute to the construction of a conceptual idea that explains the principal interaction between vegetated and built areas throughout the development of the heat island and dry island effects.

Keywords: Urban heat island, Urban dry island, Urban forestry, temperature regulation, humidity increase, climate change.