

IMPACTO EN EL CLIMA URBANO DEL AVANCE DE LA CIUDAD HACIA LA PERIFERIA. EL CASO DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA.

M. B. Sosa Castro¹, E. Correa Cantaloube².

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV - INCIHUSA) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Científico y Tecnológico – CCT C.P. 5500 – Mendoza.
Tel. 0261-5244310 – e-mail: msosa@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido 10/09/15

RESUMEN: El trabajo evalúa la modificación micro-climática —isla de calor urbano (ICU)— que genera la expansión de la mancha urbana del área metropolitana de Mendoza (AMM). Para ello, se analiza y compara el comportamiento térmico del centro de la ciudad y de 4 puntos periféricos (ejes de crecimiento urbano). Los puntos fijos se seleccionaron y caracterizaron bajo los parámetros de la Sociedad Norteamericana de Meteorología y fueron monitoreados durante 28 días de enero de 2005 y 2014. El crecimiento de la mancha urbana se cuantificó utilizando freeware MultiSpec© y se analizaron y discutieron las leyes de planificación urbana del AMM. Como resultado, las superficies selladas y temperaturas aumentaron en la periferia. En el centro, la superficie sellada no aumento, pero si las temperaturas ($\Delta T^{\circ}\text{mín}_{2014-2005}=2.9^{\circ}\text{C}$, $\Delta T^{\circ}\text{máx}_{2014-2005}=3.2^{\circ}\text{C}$, $\Delta T^{\circ}\text{media}_{2014-2005}=2.7^{\circ}\text{C}$). Esto muestra que aunque el enfriamiento de tipo radiativo en el centro no ha variado, las posibilidades de enfriamiento y bio-climatización nocturnas se han desmejorado.

Palabras clave: mancha urbana, modificación micro-climática, isla de calor urbana, clima urbano, planificación urbana.

INTRODUCCION

Tal como pusieron de manifiesto los estudios de Howard y Elisabeth Odum (1980), las áreas urbanas concentran mayor cantidad de energía por unidad de superficie en comparación a un ecosistema natural. Siendo entonces, las ciudades, por definición un punto focal de consumo de energía, necesario para dar funcionamiento al denominado “metabolismo urbano” (Wolman, 1965, Steemers, 2003).

Dicho metabolismo impacta en el ambiente natural modificando, entre otros factores, los parámetros del clima; tanto a escala macro calentamiento global, como a escala micro alterando el clima urbano. Una de las principales alteraciones del clima urbano es el incremento de la temperatura del aire, que da origen al fenómeno isla de calor urbana (ICU) (Oke, 1982).

Actualmente, la corriente del urbanismo bioclimático busca adecuar los trazados urbanos a las condiciones propias del clima y del territorio, entendiéndose que cada situación geográfica generará un urbanismo característico y diferenciado con respecto a otros lugares (Higueras, 2012). Donde promueve a que los procesos de planificación incorporen criterios bioclimáticos integrales —en distintas escalas— para que el diseño de la ciudad no dependa solamente de la suma de edificaciones que incorporen técnicas de acondicionamiento pasivo o mixto, sino que la matriz urbana resultante se conjugue con el medio natural de cada sitio (Sosa, et. al., 2014).

A nivel mundial existen códigos, ordenanzas, planes redactados e implementados que tienen como objetivo lograr un desarrollo más sostenible de las ciudades incorporando lineamientos del urbanismo

¹ Becaria Doctoral CONICET

² Investigadora Adjunta CONICET

bioclimático. Como es el caso de la Ordenanza Bioclimática de Tres Cantos Madrid, el Plan de Sostenibilidad Ambiental de Sevilla y la Política Pública de Eco-urbanismo de Bogotá.

Específicamente en el área de estudio, Mendoza, existen dos leyes provinciales que proporcionan las directrices y dan marco a los procesos de gestión y aprobación para urbanizar sobre el territorio. Estas leyes son la Ley de Loteo y Fraccionamiento N° 4341 del año 1979 y la aun no implementada Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo N° 8051, aprobada el 5 de mayo de 2009.

La provincia de Mendoza se sitúa en el centro-oeste de Argentina, su clima es de tipo árido y su geomorfología esta formada por un cordón montañoso al oeste que decrece hasta formar valles y mesetas. En el AMM habita el 62.8% del total de la población de Mendoza y, particularmente, durante la última década la demografía urbana se incrementó en un 9.4% en esta área (INDEC, 2010).

Este aumento de población urbana genera una expansión del paisaje construido. La forma de crecimiento y disposición de esta expansión impacta en las condiciones climáticas naturales del sitio de inserción. Este escenario colabora a que se aumente la absorción y retención de la radiación solar (inercia térmica) y la rugosidad de suelo; factores que modifican los patrones de escurrimiento, infiltración y evaporación. Como así también, aumenta la capa límite térmica y mecánica afectando la penetración de vientos (Oke, 1982). Estrictamente desde un punto de vista térmico, esta alteración de los perfiles de viento, afecta las posibilidades de enfriamiento de tipo convectivo tanto en la periferia como del centro de la ciudad, dificultando los procesos de renovación y purificación del aire urbano y disminuye el contenido de humedad del aire entre otros factores.

El crecimiento de esta mancha urbana contribuye a que el fenómeno ICU se extienda hacia los bordes de la ciudad, ampliando sus límites. En el área metropolitana de Mendoza (AMM), la expansión urbana se refleja en el crecimiento de la baja densidad edilicia, que según datos del Instituto Provincial de la Vivienda está conformada en un 99% por viviendas unifamiliares de 1 o 2 pisos (IPV, 2010). En la Fig. 1 se visualiza el contraste entre los límites urbanos de los años 2005 y 2014. Esta masa edilicia, situada en los bordes de la ciudad —zona Este y Sur considerada como oasis irrigado y zona Oeste de pedemonte— es coincidente con la trayectoria natural de circulación de vientos y brisas de tipo anabáticos-catabáticos, característicos de Mendoza.



Figura 1: Mancha urbana del AMM, año 2005 a la izquierda y 2014 a la derecha. Fuente: Google Earth.

Desde hace más de 10 años el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (INCIHUSA - CONICET - CCT Mendoza) investiga la existencia, causas y consecuencias del fenómeno en el AMM. Donde uno de los principales impactos que genera la ICU es el incremento de hasta un 20% en el consumo energético para acondicionamiento térmico edilicio de verano (Correa, et. al, 2008). Así mismo, este fenómeno, deteriora la calidad del aire y las condiciones de confort térmico provocando una disminución del grado de habitabilidad y uso de los espacios abiertos (Ruiz y Correa, 2013).

Al ser la ciudad en estudio de clima árido, la ICU a pesar de alcanzar la misma magnitud tanto en invierno como en verano, se percibe con mayor intensidad durante este último periodo. Como ejemplo, en el año 2014 se registró una intensa ola de calor en el AMM que produjo el aumento de la

temperatura del aire a valores de más de 40°C. En respuesta al aumento de la temperatura, los edificios utilizaron de manera exhaustiva los equipos de refrigeración para satisfacer las necesidades de confort térmico interior. Esta situación provocó que se alcanzaran valores records de consumo de energía eléctrica, donde la demanda máxima de potencia del mes de Enero de 2014 tuvo una variación de +11.5% respecto al mismo mes del año anterior (EPRE, 2014). En este sentido, estudios de Akbari et. al, (1992) que correlaciona el consumo de energía con el efecto de la ICU, indica que para ciudades con más de 100.000 habitantes los consumos de energía en las horas pico aumentan en un 1.5 a 2% por cada grado que se incrementa la temperatura.

Es por ello, que la caracterización de la ICU en las ciudades es una herramienta que permite evaluar y cuantificar el incremento en los consumos energéticos vinculado a los patrones de asentamiento o desarrollo de la ciudad. El diagnóstico de la ICU —como indicador de sustentabilidad urbana— posibilita desarrollar estrategias para mitigar los efectos que ejerce la ciudad sobre el clima.

Como objetivo, el trabajo plantea conocer, analizar y comparar el comportamiento térmico del centro de la ciudad y de 4 puntos periféricos monitoreados en dos periodos diferentes (2005-2014), para evaluar el impacto que ejerce la expansión de la mancha urbana en la modificación del microclima en el AMM.

METODOLOGÍA

De acuerdo a este contexto, la metodología seguida en esta investigación consta de cuatro etapas: selección y caracterización de los casos de estudio, monitoreo y obtención de datos microclimáticos, análisis del crecimiento de la mancha urbana y análisis del marco legal de planificación en Mendoza.

Selección y caracterización de casos de estudio

Para llevar a cabo este trabajo se utilizaron los mismos casos de estudio (puntos de monitoreo microclimático) en dos años distintos, 2005 y 2014. Se seleccionaron en total 5 puntos del AMM, siendo 4 puntos perimetrales situados en los puntos cardinales de desarrollo de la ciudad y el centro de la misma. Este trabajo define como punto perimetral a los sectores del AMM donde la mancha urbana se discontinúa o disminuye. La ubicación y distancia de los casos denominados como: Centro, Norte, Oeste, Sur y Este se encuentran indicados en la Fig. 2.

Para establecer las características de los 5 casos de estudio, los mismos fueron analizados de acuerdo a los criterios propuestos en el trabajo de Stewart y Oke (2012) —Local climate zones for urban temperature studies (LCZ)—. El objetivo de esta clasificación es homogeneizar la descripción de cada caso de estudio —características constructivas y de cobertura de suelo— para homologar los sitios analizados a fin de permitir la comparación de resultados de las investigaciones a nivel internacional con mayor rigurosidad. Y a su vez, proporcionar un protocolo objetivo para medir la magnitud del efecto de la ICU en cualquier ciudad.

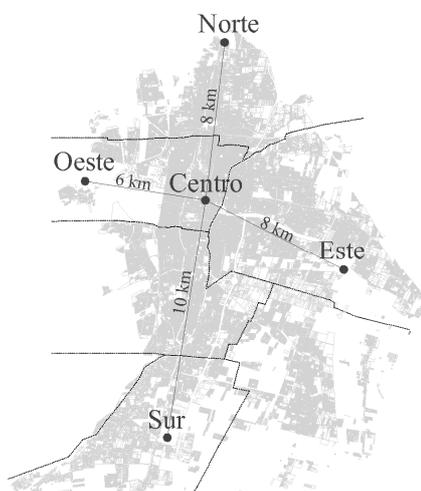


Figura 2: Ubicación de los casos de estudio en el AMM y distancias al centro de la ciudad.

Para realizar una correcta clasificación y evitar la superposición de zonas, este estudio recomienda que se releven las áreas en un radio entre 200 a 500 m; por lo cual este trabajo consideró como área de trabajo 500 x 500 m. A continuación la tabla 1 muestra la clasificación LCZ de cada caso de estudio. Dando como resultado que los 4 puntos perimetrales pertenecen al grupo LCZ 9. Estos sectores se caracterizan por tener escasa construcción, situada en un entorno natural con abundante cobertura de suelo permeable (plantas bajas, árboles dispersos). En cambio, el centro de la ciudad pertenece al grupo LCZ 2_B. En este caso las construcciones tienen en promedio 9 metros de altura, la cobertura de suelo es impermeable y las calles tienen árboles.

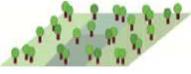
Puntos	LCZ
Norte	9 = 
Sur	
Este	
Oeste	
Oeste	
Centro	2 _B =  + 

Tabla 1: Clasificación LCZ de los casos de estudio.

Monitoreo y obtención de datos microclimáticos

Con el fin de conocer la variación microclimática —temperatura del aire— se monitoreó el comportamiento térmico de los anteriormente descritos 5 puntos. Esta recopilación de datos se desarrolló durante los meses de enero de 2005 y 2014, durante un periodo de 28 días corridos. En cada punto o caso de estudio, se instaló un sensor fijo de tipo H08-003-02. Este dispositivo se ubicó a una altura de 2 m desde el nivel de calle (Oke, 2004), dentro de una caja de PVC blanca perforada con el objeto de evitar la irradiación y asegurar una adecuada circulación de aire. Las mediciones fueron programadas cada 15 minutos.

Análisis del crecimiento de la mancha urbana

Como método para cuantificar el crecimiento de la mancha urbana en los sitios donde se instalaron los sensores periféricos se utilizó el freeware MultiSpec©. Esta herramienta permite procesar y analizar imágenes de tipo multiespectral e hiperespectral. El programa incluye varios algoritmos para calcular áreas, como son los de aspecto más básicos (realce de contraste) hasta los más sofisticados como son el análisis de componentes principales, método utilizado en este estudio.

Las imágenes utilizadas se obtuvieron de la aplicación Google Earth, tanto para el año 2014 como para el 2005 utilizando la herramienta de visualización de imágenes históricas. El tamaño de las imágenes analizadas es de 500 x 500m, para que fueran coincidentes con el área a la cual se caracterizó a cada caso de estudio con la clasificación LCZ. En el programa se crearon 2 tipos de clases a diferenciar: sellada y permeable. Luego se seleccionaron por tipo de clase un campo de píxeles, con esta información el programa calcula, mediante el método estadístico seleccionado, el porcentaje existente de cada clase asignada en la imagen.

Estos porcentajes sirven entonces para tener una idea del grado de ocupación existente de cada imagen analizada, y poder así comparar su variación temporal (2005 vs. 2014). Las imágenes obtenidas y los porcentajes de cada clase se muestran en la sección de resultados, tablas 3 y 4.

Análisis del marco legal de planificación en Mendoza

Como el trabajo busca evaluar el impacto que ejerce la expansión de la mancha urbana en la modificación del microclima en el AMM, se incluye en la metodología un resumido análisis y referencia del marco legal de planificación y ordenamiento del territorio existente en el área de estudio.

Como se menciona en la introducción en Mendoza actualmente existen dos leyes de planificación. La ley en vigencia, N° 4341 que reglamenta los procedimientos para lotear o fraccionar el territorio de acuerdo a dos tipos de zonas: urbanas y sub-urbanas. De esta categorización, dependerán las

dimensiones y superficies mínimas que deberán tener los lotes. Por otro lado esta ley, da las directrices para generar la trama vial, donde las tipologías varían en función de su uso y conexiones en tres tipologías de calles diferenciadas por el ancho en: 16, 20 y 30m.

De esta forma, la ley de loteo ha generado la matriz urbana de la provincia de Mendoza, determinada por anchos de calles y dimensiones de lotes, según su zona de emplazamiento. Promoviendo a que la incorporación de criterios que adecuen los trazados urbanos a las condiciones propias del clima y del territorio (urbanismo bioclimático), quede relegada a la decisión de cada profesional en la actuación sobre el territorio.

Por otro lado, la ley N° 8051 sectoriza a la provincia en zonas oasis, con sub-áreas urbanas, rurales y complementarias y en zonas no irrigadas, con sub-áreas rurales de aprovechamiento extractivo y naturales; como así también propone clasificar la montaña y la planicie, según su estado y aptitud ecológica. La zonificación del territorio se realizara conforme a los usos del suelo y geomorfología, y al potencial de los recursos existentes —balance hídrico de cada cuenca hidrográfica—, con criterios de sustentabilidad y conservación.

Esta ley indica que para ser implementada se deberá generar un plan provincial de ordenamiento territorial. En el pasado año este documento fue presentado ante los legisladores para su tratamiento y aprobación. Pero a pesar de las buenas intenciones proclamadas, en donde se mencionan sólo algunas estrategias bioclimáticas a tener en cuenta (asoleamiento, muros y terrazas verdes, porcentaje de suelo absorbente, reutilización de efluentes domiciliarios), el plan no fue tratado y ley no se implementa aun. En este contexto, Mendoza, tiene aún el desafío de generar herramientas de planificación que incluyan criterios del urbanismo bioclimático en las políticas y estrategias de actuación energética y ambiental.

RESULTADOS

Este trabajo pone énfasis en evaluar comparativamente el comportamiento térmico de los casos de estudio de acuerdo a 3 parámetros: temperatura máxima por ser uno de los factores que afecta y condiciona el grado de habitabilidad del espacio exterior, temperatura mínima que refleja la condición de enfriamiento de cada sitio —lo que determina el desarrollo de la ICU— y temperatura promedio que se relaciona con el consumo energético para el acondicionamiento térmico de edificios, mediante el concepto de los grados día de refrigeración y calefacción (Ruiz, et. al., 2015).

Validación del día a comparar

A fin de conocer las condiciones climáticas de los días a contrastar —validación térmica— se utilizaron los registros históricos de 2 estaciones meteorológicas (Estación aeropuerto Mendoza 874180 - SAME y Estación CCT - Mendoza). Cabe aclarar que este proceso se realiza a fin de conocer las similitudes y diferencias climáticas de ambos días seleccionados, ya que conseguir iguales comportamientos térmicos para un día en 2 años distintos es improbable.

En la tabla 2 se muestran las curvas de comportamiento, la ubicación de ambas estaciones y los valores de temperatura y la diferencia térmica de los días analizados —17/01/2005 y 15/01/2014—. Así mismo, ambos días son considerados como típicos de clima árido (día claro, con altos niveles de irradiancia solar, bajas velocidades de viento y humedad relativa), con un grado de representatividad de 76 y 74% respectivamente de las condiciones microclimáticas del total de los 28 días monitoreados.

Esta contrastación permite ver entonces que, aunque existe una diferencia entre las temperaturas máximas, mínimas y medias de 2 a 3°C, la amplitud térmica en estos puntos perimetrales de la ciudad no ha variado prácticamente, $T^{\circ}\Delta_{2014-2005} = 1^{\circ}\text{C}$. Es decir que, aunque las formas de las curvas no son idénticas, las condiciones meteorológicas de los días seccionados en general son similares.

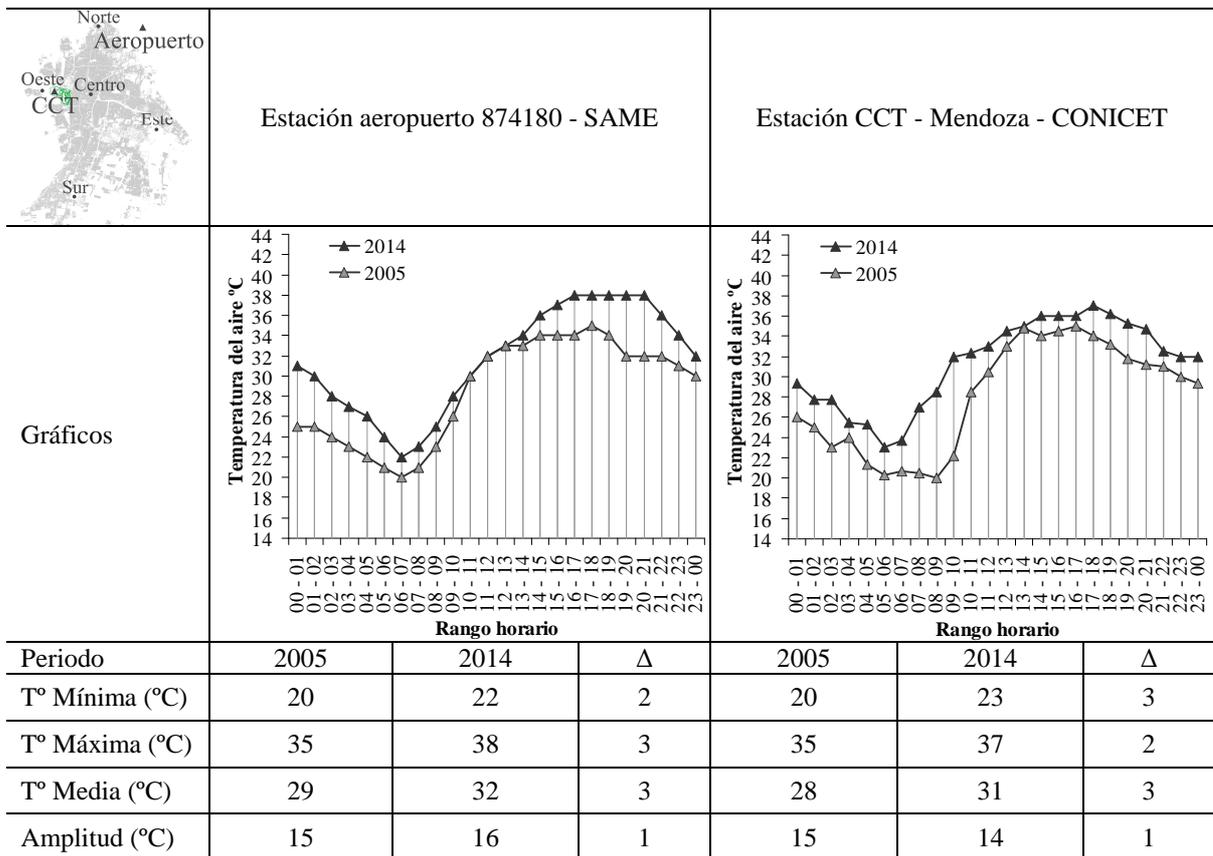


Tabla 2: Comportamiento térmico de los días seleccionados 17/01/2005 y 15/01/2014, en dos estaciones meteorológicas.

Comparación temporal 2005-2014

A continuación la Fig. 3 muestra, resume y contrasta como han variado los valores de temperatura media, máxima y mínima entre los 5 puntos de monitoreo. Donde a simple vista, se ve como los valores de las temperaturas mínimas son los que en general han aumentando en mayor medida. Las tablas 3 y 4 contienen las imágenes y valores obtenidos del análisis con MultiSpec© y los valores de temperatura y curvas de comportamiento térmico para ambos días de cada caso de estudio.

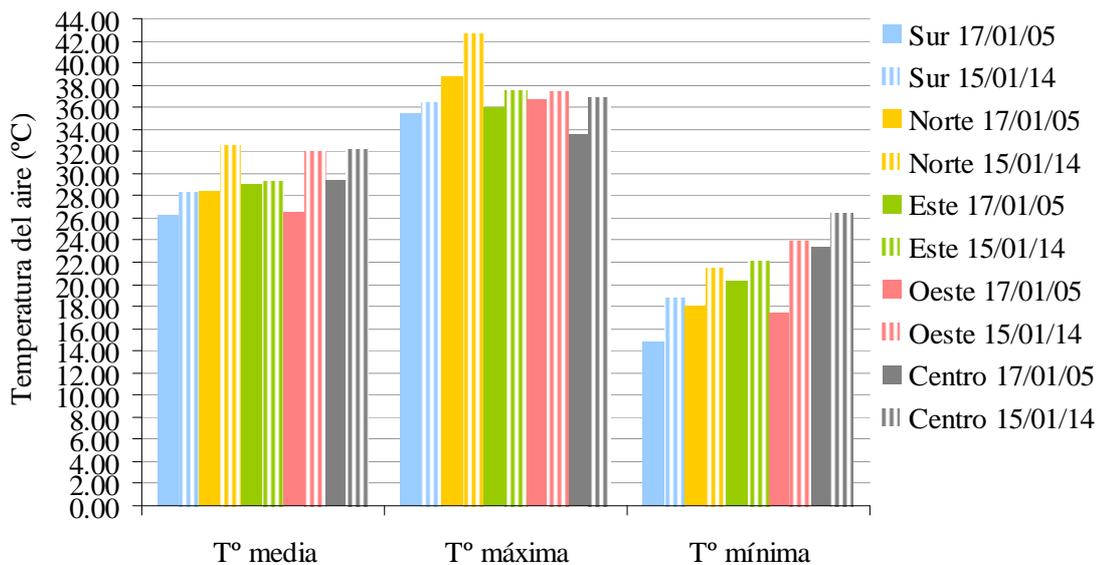


Figura 3: Temperaturas medias, máximas y mínimas de los 5 puntos monitoreados, para los periodos analizados.

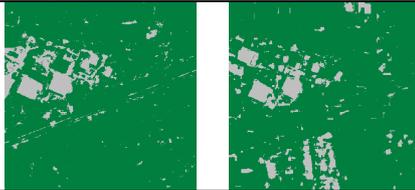
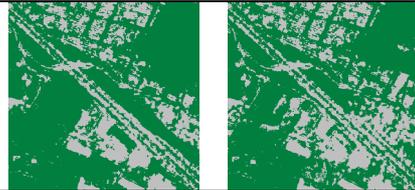
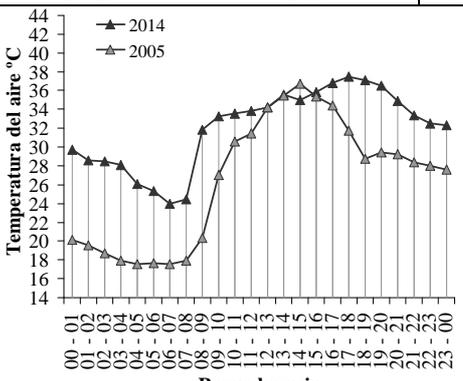
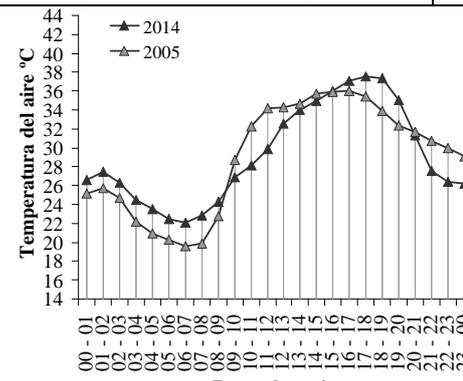
	Sensor Oeste			Sensor Este		
	2005	2014	Δ	2005	2014	Δ
Sellada (%)	4.4	11.3	6.9	22.2	28.6	6.4
Imagen satelital						
T° Mínima (°C)	17.5	23.9	6.5	20.3	22.1	1.8
T° Máxima (°C)	36.7	37.5	0.8	36.0	37.6	1.6
T° Media (°C)	26.5	32.0	5.5	29.0	29.2	0.2
Amplitud (°C)	19.2	13.5	-5.7	15.7	15.5	-0.2
Gráficos						

Tabla 3: Imágenes y valores obtenidos del análisis con MultiSpec®, valores de temperatura y curvas de comportamiento térmico para ambos días del punto Oeste y Este.

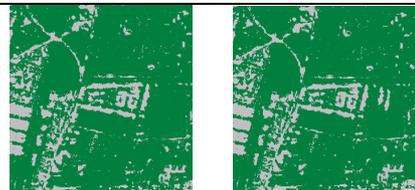
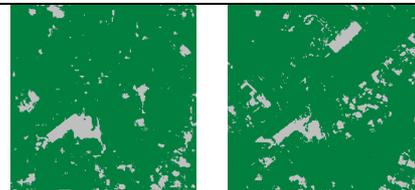
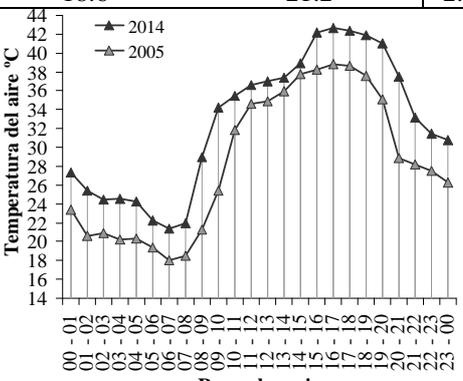
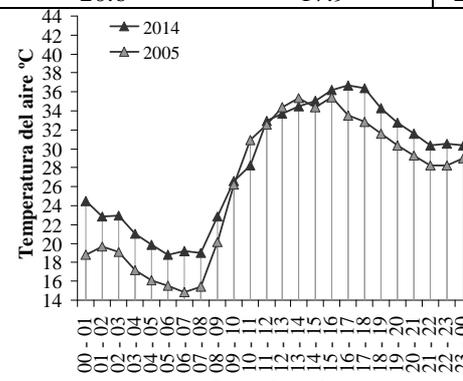
	Sensor Norte			Sensor Sur		
	2005	2014	Δ	2005	2014	Δ
Sellada (%)	24.2	26.3	2.1	7.8	10.1	2.3
Imagen satelital						
T° Mínima (°C)	20.2	21.4	1.2	14.9	18.8	3.9
T° Máxima (°C)	38.8	42.6	3.8	35.5	36.7	1.2
T° Media (°C)	28.4	32.6	4.2	26.2	28.4	2.2
Amplitud (°C)	18.6	21.2	-2.6	20.6	17.9	-2.7
Gráficos						

Tabla 4: Imágenes y valores obtenidos del análisis con MultiSpec®, valores de temperatura y curvas de comportamiento térmico para ambos días del punto Norte y Sur.

De la comparación, en cuanto al crecimiento de la mancha urbana, se detecta que:

- En todos los casos, el porcentaje de superficie sellada aumentó.
- El sector de la periferia Oeste fue donde más aumento, 6.9%.
- El sector de la periferia Norte fue el que menos aumento, 2.1%.

De la comparación, en cuanto al comportamiento térmico, se detecta que:

- En todos los casos, los valores de temperatura aumentaron.
- El punto de monitoreo Oeste fue el que más aumento el valor de temperatura mínima $\Delta T^{\circ}_{2014-2005} = 6.5^{\circ}\text{C}$, media $\Delta T^{\circ}_{2014-2005} = 5.5^{\circ}\text{C}$, y empobreció el valor de amplitud en 5.7°C . Situación que se corresponde con el incremento de la superficie sellada (aumento de la rugosidad), que de acuerdo con los estudios de Oke, (1982), disminuye las posibilidades de enfriamiento convectivo. Sin embargo, este punto fue en el que menos varió la temperatura máxima $\Delta T^{\circ}_{2014-2005} = 0.8^{\circ}\text{C}$, esto muestra como el aumento de la inercia térmica (nuevas construcciones) evita el sobrecalentamiento del aire durante el día, pero al mismo tiempo produce que durante la noche las temperaturas mínimas aumenten al liberar ese calor acumulado por la masa edilicia al ambiente.
- El punto de monitoreo Norte muestra mas incremento en la temperatura máxima $\Delta T^{\circ}_{2014-2005} = 3.8^{\circ}\text{C}$; y menor en la mínima $\Delta T^{\circ}_{2014-2005} = 1.2^{\circ}\text{C}$. Situación que se corresponde con ser el punto donde menos aumento la superficie sellada, lo que se traduce en menor inercia térmica, permitiendo que el sector se enfríe durante la noche por los intercambios de tipo radiativo y convectivo.

Como se menciona anteriormente, el crecimiento de la superficie urbana contribuye a que el fenómeno ICU avance hacia los bordes, lo que se traduce en que la temperatura de la ciudad sea más elevada y se dificulten los procesos de renovación y purificación del aire urbano. En la tabla 5 se muestra como modifica e impacta el crecimiento de la mancha urbana perimetral del AMM en el comportamiento térmico del centro de la ciudad.

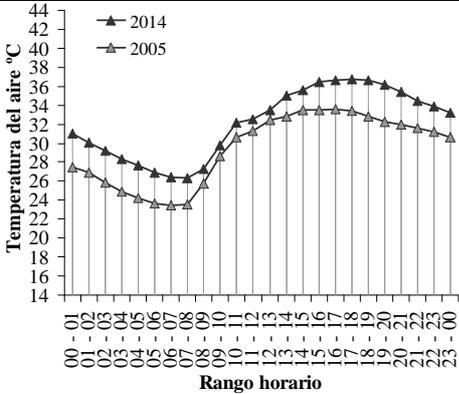
		Sensor Centro		
		2005	2014	$\Delta_{2014-2005}$
SVF		 0.11	 0.13	0.02
T° Mínima (°C)		23.4	26.3	2.9
T° Máxima (°C)		33.6	36.8	3.2
T° Media (°C)		29.4	32.1	2.7
Amplitud (°C)		10.2	10.5	0.3
Gráfico				

Tabla 5: Factor de visión de cielo, valores de temperatura y curvas de comportamiento térmico del centro de la ciudad, años 2005 y 2014.

Al analizar los valores y las curvas de comportamiento en ambos periodos (2014 vs. 2005), se visualiza que la forma es semejante, pero que los valores de temperatura han aumentado, $\Delta T^{\circ}\text{mín.}_{2014-2005} = 2.9^{\circ}\text{C}$, $\Delta T^{\circ}\text{máx.}_{2014-2005} = 3.2^{\circ}\text{C}$, $\Delta T^{\circ}\text{media}_{2014-2005} = 2.7^{\circ}\text{C}$ y $\Delta T^{\circ}\text{ampl.}_{2014-2005} = 0.3^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, el indicador que da idea del grado de ocupación de las edificaciones en altura —factor de visión de cielo (SVF)— no se ha modificado prácticamente (0.02).

Esta situación muestra entonces que las posibilidades de enfriamiento de tipo radiativo en este punto, temporalmente, no han variado. Ya que no hubo aumento de inercia, sino que los intercambios de tipo convectivo son los que han disminuido. Así mismo, el factor antropogénico es el que puede haber variado también de acuerdo al aumento de la población urbana (9.4%) que se desplaza hacia, entre y desde el centro de la ciudad. Lo que se traduce, desde un punto de vista térmico, en que la ICU posiblemente se haya intensificado en los últimos 9 años.

DISCUSION

Los resultados obtenidos, en concordancia a los estudios de Karl et. al, (1988), Gallo et. al, (1996), Kalnay et. al, (2003), muestran que el clima urbano es en gran medida resultado de la modificación *in situ* que ejerce el paisaje construido en el entorno natural. Pero, a pesar del conocimiento generado a nivel internacional por Swaid, et. al, (1993), Eliasson, (2000) y Alcoforado, et. al, (2009), entre otros, se observa que la alteración del clima es una variable pocas veces tenida en cuenta los procesos de planificación urbana.

Es por ello que en la práctica de la planificación urbana se debe promover a incorporar el factor energético-ambiental como eje esencial. Ya que si no se considera este factor, el impacto que genera el crecimiento de la mancha urbana se irá agudizando impulsado por los intereses inmobiliarios, que muchas veces promueven esquemas de urbanización indiferentes a los recursos naturales del lugar, favoreciendo los intereses económicos del sector inmobiliario.

A nivel regional, en el AMM, diversos estudios e investigaciones cuantifican los efectos que provoca la urbanización en el entorno natural. Estas investigaciones sugieren también estrategias de mitigación y optimización del uso de los recursos naturales y energía, como son: diversos esquemas de vegetación y selección de especies apropiadas de acuerdo a la restricción hídrica que esta ciudad de clima árido impone (Stocco, et. al, 2013, Flores, et. al, 2013, Martínez, et. al, 2013), materiales y tecnología apropiada para las envolventes (Alchapar, et. al. 2014), combinaciones adecuadas de morfología, forestación y materialidad (Sosa, et. al. 2013), aprovechamiento de energías renovables por el potencial solar de la ciudad (Mesa, et. al, 2004) y estrategias para optimizar el uso eficiente de la iluminación natural (Pattini, et. al, 2009).

Sin embargo, en Mendoza, la planificación urbana fundamentalmente ha surgido de la gestión de gobierno y está generalmente desvinculada de la investigación científica. Es por ello que a pesar de contar con conocimientos técnicos, éstos no forman parte de la legislación que regula el desarrollo urbano de la ciudad, ya que como se menciono anteriormente, Mendoza no tiene en ejecución una ley que contemple lineamientos del urbanismo bioclimático. Es por ello que muchos de los impactos identificados que ponen en riesgo la sustentabilidad urbana sólo podrán ser contrarrestados con la actuación particular de cada profesional.

CONCLUSIONES

El trabajo analiza y compara el comportamiento térmico del centro de la ciudad y de 4 puntos periféricos coincidentes con los ejes de crecimiento urbano, en dos periodos diferentes (2005 y 2014). El principal objetivo de esta contrastación temporal es evaluar el impacto que ejerce la expansión de la mancha urbana en la modificación del microclima en el área metropolitana de Mendoza.

Para ello la metodología selecciona y caracteriza los casos bajo los parámetros del estudio LCZ, que sirve para homologar internacionalmente las comparaciones a nivel de comportamiento térmico. Estos casos, puntos fijos, fueron monitoreados durante el verano de 2005 y 2014. Luego se analizó, por

medio de imágenes satelitales, el crecimiento de la mancha urbana y el marco legal de planificación del AMM.

Para realizar la contrastación se seleccionaron 2 días (17/01/2005 y 15/01/2014) por su grado de representatividad del total de 28 días monitoreados en ambos periodos. Los resultados muestran que las condiciones térmicas en todos los puntos han desmejorado. Particularmente, en el centro de la ciudad, se muestra como han disminuido las condiciones de habitabilidad del espacio exterior ($\Delta T^{\circ}\text{máx.}_{2014-2005} = 3.2^{\circ}\text{C}$), se han disminuido las posibilidades de enfriamiento ($\Delta T^{\circ}\text{mín.}_{2014-2005} = 2.9^{\circ}\text{C}$), dando como resultado que el consumo energético para el acondicionamiento térmico de los edificios aumente ($\Delta T^{\circ}\text{media}_{2014-2005} = 2.7^{\circ}\text{C}$).

Por último, se plantea la discusión que Mendoza no posee en ejecución una ley de ordenamiento territorial que contemple lineamientos del urbanismo bioclimático. De manera tal que se pone en evidencia el desafío de generar herramientas de planificación y estrategias de actuación energética-ambiental que puedan ser incluidas en políticas públicas para que exista una definición clara de mejorar el desarrollo urbano sustentable. Esta situación constituye un reto fundamental para garantizar la viabilidad y sostenibilidad urbana para los próximos años.

REFERENCIAS

Akbari H., Davis S., Dorsano S. Huang J. and Winert S. (1992). Cooling our Communities - US Environmental Protection Agency. Office of Policy Analysis, Climate Change Division.

Alchapar N., Correa E., Cantón M. (2014). Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semi-arid zones. E&B. Journal of Energy & Buildings, UK. Cambridge, 22-32.

Alcoforado, M.-J., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning. Landscape and Urban Planning, 90(1-2), 56-65. [doi:10.1016/j.landurbplan.2008.10.006](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.006)

Correa, E., de Rosa, C. & Lesino, G. (2008). Urban heat island effect on heating and cooling degree day's distribution in Mendoza's metropolitan area. Environmental costs, in: Sociedade Portuguesa de energia solar (SPES) (Ed.), Proceedings of the 1st international conference on solar heating, cooling and buildings (EUROSUN 2008). Curran associates, Inc. Red Hook, NY, USA, 2, 951-958.

Gallo K. P., Easterling D. R., Peterson T. C. (1996). The Influence of Land Use/Land Cover on Climatological Values of the Diurnal Temperature Range. Journal of Climate 9 (11), 2941-2944 [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2941:tioluc>2.0.co;2](https://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2941:tioluc>2.0.co;2)

Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. Landscape and Urban Planning, 48(1-2), 31-44. doi:10.1016/s0169-2046(00)00034-7

Ente Provincial de Regulación Eléctrica, EPRE (2014). Informe técnico de evolución de la demanda de enero de 2014. <http://www.epremendoza.gov.ar/>

Flores J. E., Martínez C., Cantón M. A. (2013). Tecnologías verdes. Potencial de aplicación en el área metropolitana de Mendoza (AMM). Avances en energías renovables y medio ambiente. Salta, Argentina, 1, 115-120.

Higueras E. (2012). Urbanismo bioclimático. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili, 1ª edición.

Ley de Loteo o Fraccionamiento de la provincia de Mendoza N° 4341. Aprobada el 15 de Mayo de 1979.

Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo N° 8051. Aprobada el 5 de Mayo de 2009.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC (2010). Censo nacional de población, hogares y viviendas. Argentina. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
Instituto Provincial de la Vivienda de Mendoza, IPV (2010). Censo nacional de población, hogares y viviendas. Argentina. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>

Kalnay E. & Cai M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature* 4; 425(6953):102.

Karl T., Diaz H. F., Kukla G. (1988). Urbanization: Its Detection and Effect in the United States Climate Record. *Journal of Climate* 1(11), 1099-1123. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<1099:uidaei>2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<1099:uidaei>2.0.co;2)

Martinez C., Roig F., Cavagnaro J., Cantón M. A., Di Blasi A. (2013). Effects of water deficit on urban forest growth in a dryland south american region. *PHYTON International Journal of Experimental Botany*. 82, 151-160.

Mesa N., De Rosa C. (2004). El libre acceso al recurso solar en entornos urbanos. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Salta, Argentina, 8, 13-18.

MultiSpec© (versión 9) software (2011): School of Electrical and Computer Engineering Purdue University. Obtenido de: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>

Odum, H. T. & Odum, E. C. (1980). *Energy basis for man on nature*. Mc Graw Hill inc. New York. ISBN 0070475113, 9780070475113.

Oke T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 108(45), 1-24.

Oke, T. R. (2004). IOM Report No. 81, WMO/TD No. 1250: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. WMO, Geneva.

Pattini A., Villalba A., Córlica M. L., Ferrón L., Del Rosso R. (2009). Elementos de control de luz solar directa en fachadas vidriadas de edificios no residenciales de ciudad oasis. *Rediseño para aulas. Avances en energías renovables y medio ambiente*. Salta, Argentina, 13, 179-186.

Plan Provincial de Ordenamiento Territorial. Documento preliminar Mayo de 2014.

Ruiz, M. A. & Correa, E. N. (2013). Suitability of different comfort indices for the prediction of thermal conditions in tree-covered outdoor spaces in arid cities. *Theor.Appl. Climatol.* <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-014-1279-8>

Ruiz, M. A., Sosa, M. B, Correa E. & Cantón M. A. (2015). Suitable configurations for forested urban canyons to mitigate the UHI in the city of Mendoza, Argentina. *Urban Climate*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.05.005>

Sosa, M. B., Correa, E. & Cantón, M. A. (2014). Urbanismo bioclimático ¿Están considerados sus lineamientos en planes de ordenamiento territorial? El caso del proyecto de ley de la provincia de Mendoza. In Jorge Karol (Ed), pp. 41-48. UPE 11 *Conducir las Transformaciones urbanas: Un debate sobre direcciones, orientaciones, estrategias y políticas que modelan la ciudad future*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. ISBN 978-950-34-1133-9. http://www.upe11.org/uploads/docs/libro_tomo_1.pdf

Sosa M. B., Ruiz A., Correa E. (2013). Caracterización de perfiles urbanos y su relación con el confort térmico exterior en una ciudad oasis de zona árida. *Avances en energías renovables y medio ambiente*. Salta, Argentina, 1, 105-114.

Stemmers, K. (2003). Energy and the City: Density, Buildings and Transport. *Energy and Buildings* 35, 3-14. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00075-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00075-0)

Stewart, I. D. & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *B. Am. Meteorol. Soc.* 92, 1879-1900. <http://dx.doi.org/10.1175/bams-d-11-00019.1>

Stocco S., Cantón M. A., Correa E. (2013). Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable, Chile*, 3(2), 19-34.

Swaid, H., Bar-El, M., & Hoffman, M. E. (1993). A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces. *Theor Appl Climatol*, 48(1), 49-61. [doi:10.1007/bf00864913](https://doi.org/10.1007/bf00864913)

Wolman, A. (1985). The metabolism of the city. *Scientific American* 213(3), 179-190.

ABSTRACT

The study evaluates the microclimatic modification —island urban heat (UHI)— that the urban Mendoza metropolitan area (MMA) expansion generates. In order to achieve that, the thermal behavior of the city downtown and 4 peripheral points (urban growth axes) were analyzed and compared. These fixed points were selected and characterized according to the American Meteorological Society parameters and were monitored during 28 days of January in 2005 and 2014. The growth of the MMA urban area was quantified by the MultiSpec© freeware and the legal urban planning framework were analyzed and discussed. As a result, the impervious surfaces and the air temperatures have increased on the periphery. In the city downtown, the impervious surface remains equal, but the air temperature is higher ($\Delta T^{\circ\text{min.}}_{2014-2005} = 2.9^{\circ\text{C}}$, $\Delta T^{\circ\text{max.}}_{2014-2005} = 3.2^{\circ\text{C}}$, $\Delta T^{\circ\text{average}}_{2014-2005} = 2.7^{\circ\text{C}}$). This situation shows that although the possibility of radiative cooling at the city center has not changed, the nocturnal cooling and bio-climatization possibilities have decrease.

Keywords: urban sprawl, micro-climatic modification, urban heat island, urban climate, urban planning.