

## Modificaciones en la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa como resultado del crecimiento urbano: el caso de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina

F. Ferrelli<sup>1,2</sup>, M. L. Bustos<sup>1,2</sup> y M. C. Piccolo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.  
San Juan y 12 de Octubre, 4º piso, Bahía Blanca B8000FWB, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto Argentino de Oceanografía. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.  
Florida 4500, Complejo CCT-Bahía Blanca, Edificio E1, B8000FWB Bahía Blanca, Argentina.

<fferrelli@criba.edu.ar>

(Recibido: 23-Feb-2016. Publicado: 25-Abr-2016)

### Resumen

El crecimiento de las ciudades genera modificaciones en la atmósfera local que pueden afectar la confortabilidad y calidad de vida de la población. El objetivo del presente trabajo fue comparar la evolución de la isla de calor de verano e invierno entre los años 1985 y 2014 en Bahía Blanca (Argentina). Esta ciudad ha sufrido un importante aumento de la población y de las actividades industriales en los últimos años. Se estudió el aumento de la zona urbana construida, las variaciones espaciales de temperatura y humedad relativa y el crecimiento de la población. Se calcularon índices de confort climático (Humidex, Termohigrométrico y Temperatura Equivalente). La zona urbana construida se extendió más de 110 km<sup>2</sup> y el incremento de la población fue de 22,4%. Las modificaciones en el espacio urbano, junto con una mayor densidad de edificios, generaron cambios en las temperaturas de verano de 1985 y 2014. En la primera el centro de la ciudad fue más cálido que las zonas periféricas. La zona más confortable fue la costera. En 2014, en el centro de la ciudad se presentaron las temperaturas más altas y las zonas más confortables fueron las periféricas y los parques. Las mediciones de invierno no registraron diferencias considerables entre sí en las mediciones nocturnas. Los resultados demostraron que el crecimiento de las edificaciones y el incremento de la población de Bahía Blanca modificaron la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa y generaron situaciones de desconfort. Estos resultados generaron información necesaria para futuros planes de desarrollo urbano.

**Palabras clave:** Isla de calor urbana (ICU), temperatura, humedad relativa, confort climático, crecimiento urbano.

### Abstract

Urban growth modified different meteorological parameters. The citizen's comfort is also affected by this phenomenon mainly in their quality of life. The aim of this study was to compare the evolution of the urban heat island during winters and summers of 1985 and 2014 in Bahía Blanca city (Argentina). This city has suffered a significant increase in population and industrial activities in recent years. Different comfort indexes were calculated to analyze temperature changes that could affect the population. The main results showed that the urban area has extended 110 km<sup>2</sup> and the population has increased to 24,4%. Urban changes and the increment of buildings create differences in summer temperatures between 1985 and 2014. In 1985, the downtown was warmer than the periphery and the most comfortable area was the coastal zone. In 2014, the situation was similar but green areas presented the most comfortable temperatures. On the other hand, winter temperatures did not present significant differences between them. Results demonstrated that the expansion of building area and the population increase in Bahía Blanca city modified the spatial distribution of temperature and relative humidity creating an uncomfortable situation. This information is considered necessary to carry out future urban planning.

**Key words:** Urban heat island (UHI), relative humidity, temperature, urban growth.

## 1. Introducción

La climatología urbana ha adquirido un notable desarrollo como respuesta a los problemas que acompañan al creciente proceso de urbanización. Las estimaciones prevén que en 2030, el 61 % de la población mundial habitará en ciudades (UNFPA, 2009). Es necesario entonces controlar si el efecto del crecimiento del área urbana incide en una modificación artificial del clima que pueda perjudicar a sus habitantes (Carfan *et al.*, 2012).

A escala global se pueden identificar grandes procesos que ocurren en la atmósfera que modifican la distribución de las precipitaciones. Esto se debe a cambios en la producción de vapor de agua, nubosidad y extensión de las capas de hielo que modulan el balance de radiación del planeta y generan variaciones climáticas relacionadas con la concentración de gases de efecto invernadero. De esta manera se generan impactos sobre la distribución espacial de la temperatura del aire pudiendo afectar los regímenes pluviométricos determinando períodos de sequías e inundaciones (Rivera-Arriaga *et al.*, 2010). Los cambios a esta escala repercuten en los climas regionales. Sin embargo, a escala local adquieren importancia los espacios urbanos. En ellos se producen variaciones climáticas espacio-temporales en un territorio pequeño. Esto se debe a la modificación en las condiciones atmosféricas locales que generan cambios en el comportamiento térmico. Los espacios urbanos actúan como modificadores de los climas regionales debido a la sustitución de superficies naturales por espacios construidos. Con ello se alteran las propiedades físico-químicas y los procesos aerodinámicos, térmicos, hidrológicos y de intercambios de masa que ocurren en la atmósfera (García, 2009). Como resultado surge el denominado clima urbano (Lombardo, 1997). Este tipo de clima se genera a partir de la comparación de la ciudad con su entorno natural o área rural, a partir de las diferencias producidas por su funcionalidad y por el contexto de la ciudad, como también las características topográficas y de sitio y de aquellos contrastes producidos por la estructura urbana. La intensidad y características de estas modificaciones suelen ser distintas en función de los elementos que la componen (red vial, tipo y estructura de edificaciones, presencia de arbolado, etc.) (García, 2009).

Uno de los más conocidos efectos del crecimiento de las ciudades es el aumento de la temperatura (Jáuregui, 2009). Las ciudades son generalmente más cálidas que su entorno rural próximo (Oke, 1973). La magnitud de estas diferencias térmicas es muy variable y dependen de múltiples factores pero el área edificada suele presentar una temperatura del aire más elevada. Este fenómeno se denomina Isla de Calor Urbana (ICU). La misma es el ejemplo más evidente de la influencia del hombre sobre el clima de una ciudad. En la literatura, se observaron intensidades medias de ICU de 2 °C a 4 °C e intensidades máximas comprendidas entre 7 °C y 14 °C según las condiciones del sitio (Torok *et al.*, 2001; Alcoforado y Andrade, 2006; Kassomenos y Katsoulis, 2006). Además, las áreas urbanas originan islas de sequedad o de humedad en sitios en los cuales se generan procesos que retienen o liberan vapor de agua (Dorighello, 2002; Capelli de Steffens *et al.*, 2005).

En Argentina, se estudiaron ICU generadas en distintas urbanizaciones observándose intensidades similares a las citadas para otras ciudades del mundo (Piccolo y Capelli de Steffens, 1985; Figuerola y Mazzeo, 1998; Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Ferrelli *et al.*, 2015a). Como consecuencia de estas modificaciones en la atmósfera urbana se producen cambios en el gradiente térmico que pueden afectar el confort de la población (Deosthali, 1999). Estos son causados por la modificación del espacio natural producto de las edificaciones (Jáuguery y Heres, 2008). Los nuevos materiales tienen propiedades radiativas y conductivas muy diferentes al medio original que aumentan la retención y generación del calor (Grimmond, 2007) e impactan sobre la distribución de las precipitaciones a escala local (Jáuregui, 2004).

Se puede considerar entonces, que el estudio del clima urbano como recurso, como contexto y como amenaza es importante para el desarrollo de las comunidades pues ayuda a mejorar el ambiente y la calidad de vida de sus habitantes y turistas teniendo en cuenta las aptitudes y restricciones climáticas con vista a futuras expansiones urbanísticas. Por lo mencionado y considerando que la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) experimentó un importante crecimiento poblacional, se han instalado nuevas industrias y se ha expandido el área edificada, se analizaron los cambios en la distribución térmica y de la

humedad relativa en los últimos treinta años (1985-2014). Además se estudió cuáles son los niveles de confort climático actuales en invierno y verano.

### 1.1. Área de Estudio

La ciudad de Bahía Blanca está localizada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires en el partido homónimo (figura 1). El principal parque industrial y el puerto se emplazan sobre la costa del estuario que lleva su mismo nombre. La ciudad es la más importante de la región con 301.531 habitantes (INDEC, 2010) y cuenta con el segundo centro portuario de la Argentina.

A pesar de ser una ciudad costera, la circulación atmosférica de Bahía Blanca presenta características continentales. Esto determina fuertes oscilaciones térmicas anuales y la dominancia de vientos del norte, noroeste y oeste generados por el Anticiclón semipermanente del Océano Atlántico. La presencia de la brisa marina se observa con los vientos del E y el SW (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Perteneció a la sub-región pampeana seca en donde los eventos extremos de pluviometría tienen una intensidad marcada y la precipitación media anual es de 650 mm (Ferrelli y Aliaga, 2015; Aliaga *et al.*, 2016).

A nivel local, el proceso de urbanización y la ausencia de vegetación alteran la distribución espacial de la humedad relativa. La energía que se desprende de los edificios durante la noche ocasiona una fuente artificial de calor que da como resultado la formación de islas de calor (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). En esta ciudad son escasas las plazas y los espacios con importante vegetación (6% del total del área urbana) (Ferrelli *et al.*, 2015a).

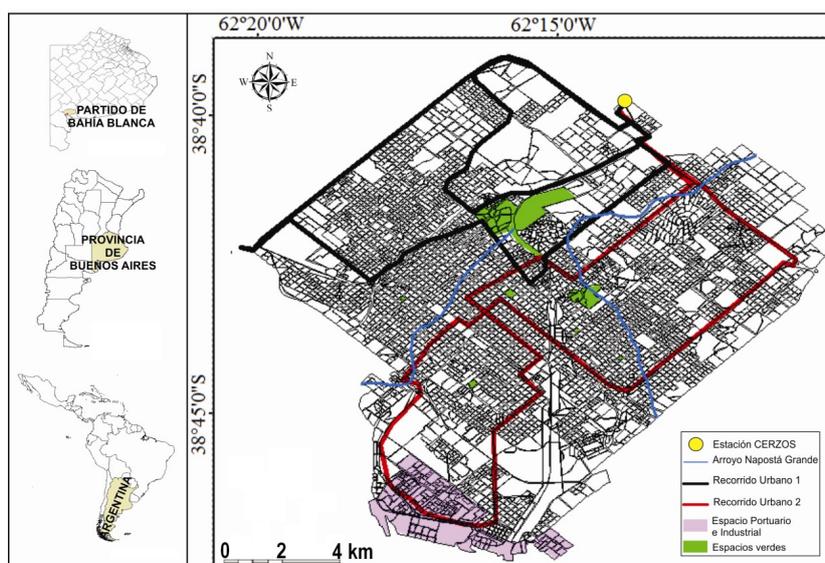


Fig. 1; Localización de la ciudad de Bahía Blanca, usos del suelo, recorridos y transectas de medición y localización de la estación meteorológica del CERZOS.

## 2. Metodología

Se compararon las mediciones de la ICU efectuadas el 20 de febrero y el 20 de agosto de 1985 (Piccolo y Capelli de Steffens, 1985 y 1987) con las realizadas el 20 de febrero y el 14 de agosto de 2014. Las condiciones atmosféricas de los días de las mediciones fueron similares para ambos años. La presencia de un centro de alta presión generó cielo claro y despejado con vientos leves del sector norte. Ambos años considerados en este estudio se comportaron de manera similar teniendo en cuenta el Índice Oceánico El Niño ONI, perteneciente al Centro de Predicción climática del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2016) con valores anuales acumulados de -3,4 y -3,2 para 1985 y 2014, respectivamente.

La forma de obtención de la información meteorológica para cada año fue diferente. En 1985 se utilizaron dos autos que recorrieron la ciudad a una velocidad constante de 35 km h<sup>-1</sup> durante 120 minutos para abarcar toda el área urbana. No se registraron datos en aquellos momentos de detención como consecuencia de los semáforos. Además, las mediciones se realizaron mediante termohigrómetros convencionales en dos momentos del día, el diurno (14:30 h) (coincidente con la máxima temperatura) y el nocturno (20 h).

Para el estudio de la ICU en el año 2014, se utilizó un nuevo dispositivo específico para estas mediciones (Ferrelli *et al.*, 2015b). Se realizaron dos recorridos que atravesaron la ciudad (figura 1), abarcando su periferia, centro y barrios residenciales utilizando dos vehículos. Se midió la temperatura del aire, humedad relativa y geoposicionamiento de manera continua y en alta frecuencia (2 datos por segundo). Este instrumental se instaló en la ventana de los automóviles que se movieron a escasa velocidad (40 km h<sup>-1</sup>). El mismo se conectó a una computadora portátil, lo que permitió la visualización de la información registrada de manera inmediata (figura 2). Las mediciones se extendieron por 90 minutos, lo que manifestó las ventajas del dispositivo diseñado dado que, a pesar de registrarse un crecimiento urbano significativo, el período de medición para cubrir el área urbana fue menor que en los estudios previos (Ferrelli *et al.*, 2015b). En este caso, el Software permitió pausar las mediciones en los semáforos.

Los datos registrados en 2014 fueron normalizados siguiendo la metodología de Piccolo y Capelli (1985 y 1987) para poder compararlos con las mediciones previas. Es decir que se utilizó la información meteorológica registrada por una estación fija (localizada en la ciudad) perteneciente al Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS-CONICET) (figura 1). Con esta información, que tuvo un intervalo de muestreo de 10 minutos, fue posible normalizar los datos registrados a un horario común y así descartar las variaciones térmicas ocasionadas por la extensión del período de las mediciones. Para ello se calcularon los gradientes térmicos y de humedad relativa diurno y nocturno.



Fig. 2: Instalación del instrumental en el vehículo.

El tratamiento de la información se llevó a cabo con el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.3. Se interpoló utilizando el método Kriging Ordinario con el modelo esférico. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación este método es el que mejor se adapta para las geo-ciencias.

La intensidad de la ICU se calculó realizando la diferencia entre la temperatura máxima del área urbana y la correspondiente al área límite de la ciudad (Suburbana) (estación meteorológica de referencia) (figura 1). Para hacer las comparaciones entre las mediciones de 1985 y 2014, se calculó el cambio de la velocidad crítica del viento ( $V_C$ ). La misma es aquella en la cual ya no se forma la isla de calor. Para ello se utilizó la siguiente fórmula considerando el número de habitantes ( $P$ ) (Oke y Hannell, 1970):

$$V_C = 11,6 + 3,4 \log P$$

La  $V_C$  de Bahía Blanca en 2014 fue  $30,2 \text{ km h}^{-1}$ , mientras que para 1985 era  $24 \text{ km h}^{-1}$ .

Finalmente, se calcularon los índices de confort climático con las mediciones registradas en 2014 durante la mañana, la tarde y la noche. Con ello se pudo relacionar el impacto del crecimiento urbano sobre la confortabilidad de los habitantes comparándolo con estudios previos. Para ello, se aplicó el índice Humidex (Weather Service of Environment Canada, 2001) que permitió estimar la temperatura efectiva que sentía el ser humano a partir de determinadas condiciones de humedad y temperatura (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). También se calcularon los índices Termohigrométrico (*THI*: Temperature-Humidity Index) propuesto por Thom (1959) para las mediciones de verano y el de Temperatura Equivalente (*TE*) para las mediciones de invierno expresado por Quayle y Steadman (1999).

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Crecimiento urbano y poblacional

El crecimiento de la ciudad de Bahía Blanca fue continuado a lo largo del período analizado. En 1986, la ciudad tenía una extensión de  $52 \text{ km}^2$  de zona urbanizada. En el año 2014 se observó un incremento del área urbana de un 110% ( $111 \text{ km}^2$ ). El mayor crecimiento fue en dirección norte y sudeste. Entre el período 1986 y 1995 el área urbana creció un 37% (mayor expansión) y entre 1996 y 2012 un 23% (menor expansión) (tabla 1) (Ferrelli *et al.*, 2016). Se demostró que el crecimiento urbano de la ciudad experimentado durante los últimos 30 años repercutió en un aumento de la temperatura del aire ( $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y una reducción de la humedad relativa (6%). Además las ráfagas máximas del viento decrecieron  $3,6 \text{ km h}^{-1}$  (Ferrelli *et al.*, 2016). La importancia del incremento de la urbanización es que se generan cambios en el gradiente térmico que pueden afectar el confort de los residentes (Deosthali, 1999).

La población de Bahía Blanca también aumentó. En 1980 la ciudad tenía 234.047 habitantes. El aumento registrado entre 1980 y 2010 fue de 67.484 habitantes. El mayor crecimiento inter-censal se observó entre 1980 y 1991 con 16% (272.191 habitantes). En los dos últimos censos (2001 y 2010) el aumento fue inferior al 6%. El incremento medio fue de 2.250 habitantes por año mientras que el crecimiento edilicio fue de  $1,9 \text{ km}^2$  por año.

Tabla 1: Crecimiento urbano del área de Bahía Blanca por décadas durante el período 1986-2014.

Período	$\text{km}^2$	Crecimiento (%)
1986	52	-
1987-1995	66	25,2
1996-2004	90	36,6
2005-2014	111	23,0

#### 3.2. Modificaciones en la temperatura del aire en verano

En la medición diurna de 1985, el viento sopló del NW a una velocidad de  $12 \text{ km h}^{-1}$ . Las temperaturas más elevadas se registraron en el sector periférico y las menores en el centro, S y SW de la ciudad. Las zonas portuarias fueron más frescas debido a la interacción entre el agua y el aire. Durante las horas del

día, la ciudad se presentó más fresca que su entorno, generando islas frías. Las mayores temperaturas (37 °C) se localizaron en el N y NW de la ciudad. La ICU registrada fue de 4 °C. En cambio, las mediciones diurnas de 2014 mostraron más cálidos el centro y el W de la ciudad. En las zonas de parques las temperaturas fueron más frías en 2014 registrando 32,1 °C (-1,9 °C con respecto a 1985). La máxima temperatura fue de 36,6 °C y la mínima de 30,3 °C, marcando una amplitud de 6,3 °C. El centro de la ciudad registró el mayor valor de temperatura (36,6 °C) (figura 3).

La ICU nocturna de 1985 fue de 7 °C. El centro de la ciudad fue más cálido. La máxima temperatura (30,4 °C) se localizó en el microcentro, producto de la densidad edilicia. El NW registró las temperaturas más bajas (23,4 °C), coincidiendo con la mayor cantidad de vegetación y con la dirección del viento. Por otro lado, en 2014, la ICU nocturna fue de 9,7 °C, es decir, 2,7 °C mayor que en 1985. Las mínimas temperaturas (22,5 °C) se presentaron en las zonas arboladas de la ciudad. Estas coincidieron con los parques, los barrios parque y la zona con menor cantidad de edificios. El valor máximo se presentó en el S, con un valor de 32,2 °C (figura 3 y tabla 2).

Los cambios entre ambas mediciones fueron consecuencia del aumento de la superficie construida que afectó a la distribución espacial de la temperatura del aire. Por un lado, el aumento de las edificaciones generó mayor retención del calor. Por otro, el tamaño de la ciudad alteró el comportamiento térmico. Además, varios factores actuaron como condicionantes: el clima regional, el tiempo atmosférico, la topografía, tamaño y morfología de la ciudad, el reemplazo de un espacio natural por otro, las diferencias en las constantes físicas de los materiales urbanos, la impermeabilización de la superficie natural, la falta o escasez de superficies evaporativas, la composición del aire urbano, etc. (Pérez *et al.*, 2003; Rosenzweig *et al.*, 2005; Wong y Yu, 2005; Chen *et al.*, 2006; Yuan y Bauer, 2007; Santana, 2007; Ferrelli *et al.*, 2015a y 2016).

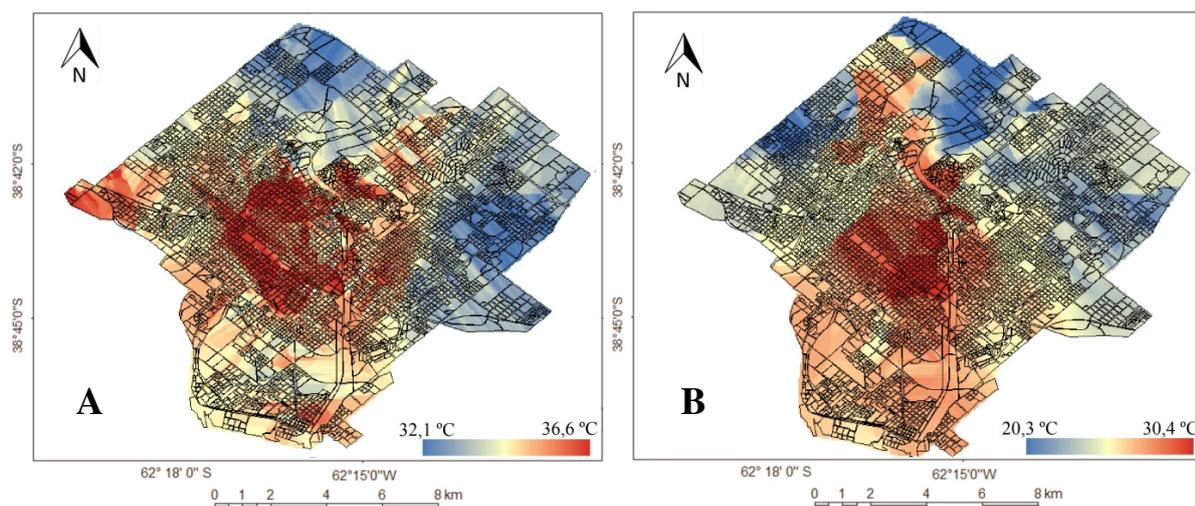


Fig. 3: Distribución espacial de la temperatura del aire en el verano de 2014. (A: Diurna; B: Nocturna).

Tabla 2: Máximos, mínimos e intensidad de la isla de calor urbana de la ciudad de Bahía Blanca para las mediciones estivales e invernales de 1985 y 2014 (en °C).

		1985			2014			ICU2014 - ICU1985
		Máximo	Mínimo	ICU	Máximo	Mínimo	ICU	
Verano	Día	37	33	4	36.6	30.3	6.3	2.3
"	Noche	30.4	23.4	7	32.2	22.5	9.7	2.7
Invierno	Día	12	11	1	21.6	16.8	4.8	3.8
"	Noche	10	4	6	18.5	11.7	6.8	0.8

### 3.3. Distribución espacial de la humedad relativa

Las comparaciones de la humedad relativa (*HR*) se realizaron para el verano dado que sólo se tienen estos valores para ambos años. En 1985 durante el día la ciudad fue más seca que su entorno rural próximo en un 10%. En 2014, el máximo valor se registró en los parques y en los barrios parque de la ciudad y los menores en el centro urbano (60% de *HR*). La zona costera fue la más húmeda (92% de *HR*). En ese año, la ciudad fue 10% más húmeda que su entorno rural próximo (figura 4).

Las mediciones nocturnas de 1985 presentaron a la ciudad seca, con una diferencia del 20% menor en relación a su periferia. Los máximos valores se registraron en los parques y los barrios parque. La zona costera presentó valores que oscilaron entre 42 y 45%. En 2014, en cambio, se registraron las mayores diferencias en la humedad relativa. El menor valor fue de 23% y se localizó en el centro, mientras que el mayor fue de 70% localizado en los parques y hacia el W de la ciudad. Esta fue un 23% más húmeda que su entorno (figura 4). Los cambios observados se deben principalmente a la sustitución de suelo natural por edificaciones que modifican el albedo urbano e impactan sobre el clima de la ciudad. Además el aumento de la edificación genera un cambio en la velocidad del viento y un incremento de la turbulencia afectando la distribución de la temperatura y la humedad relativa (Sepulveda Moreno, 2006). Por otro lado, según Luber y McGeehin (2008), el cambio de las coberturas del suelo modifica la capacidad de almacenamiento térmico, dando como resultado una alteración que puede ser significativa para el área urbana en relación a su entorno. Además, la ausencia de vegetación o la disminución de la misma afectan el comportamiento de la humedad relativa. Estos cambios se han registrado en la ciudad de Bahía Blanca (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Ferrelli *et al.*, 2016).

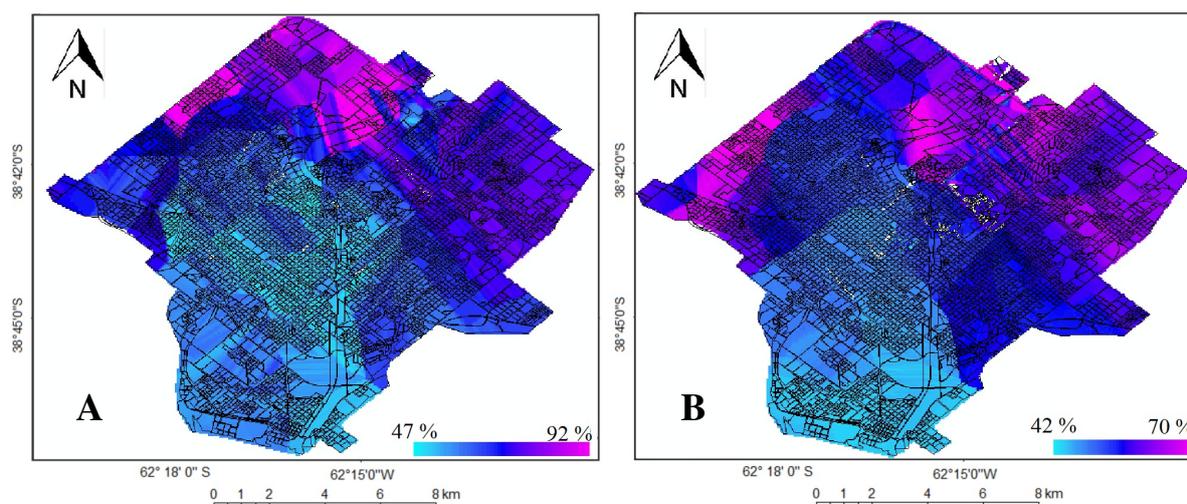


Fig. 4: Distribución espacial de la humedad relativa en el invierno de 2014. (A: Diurna; B: Nocturna).

### 3.4. Modificaciones en la temperatura del aire en invierno

En 1985, las diferencias espaciales de temperatura fueron mínimas. Durante la mañana el área urbana se presentó 1 °C más caliente que su periferia. La ciudad estuvo en su totalidad dentro de la isoterma 11 °C, con la presencia de pequeños islotes 12 °C diseminados por el centro de la ciudad. La temperatura media de la ciudad fue 11,6 °C. En las mediciones diurnas de 2014 el área urbana presentó un valor medio 19,3 °C. El máximo valor fue 21,6 °C, localizado en el microcentro y el menor 16,8 °C en la periferia. La ICU fue 4,8 °C, es decir, 3, 8 °C mayor que en 1985.

Durante la noche, las diferencias térmicas fueron mayores. En 1985, la mayor parte de la ciudad se encontró bajo la isoterma de 9 °C. Dentro de ella, se observaron dos máximos de 10 °C localizados en el microcentro y en el SW. El valor mínimo se presentó en la periferia con 4 °C. En este horario la ICU fue

6 °C, su magnitud fue comparable con la máxima encontrada para el verano del mismo año (7 °C). El valor medio en este horario fue 7,2 °C. En 2014, durante la noche, la temperatura media de la ciudad fue 15,4 °C, el máximo valor registrado fue 18,5 °C en la zona portuaria y el mínimo 11,7 °C, registrando una intensidad de la ICU de 6,8 °C, es decir, 0,8 °C mayor que en 1985 (figura 5 y tabla 2).

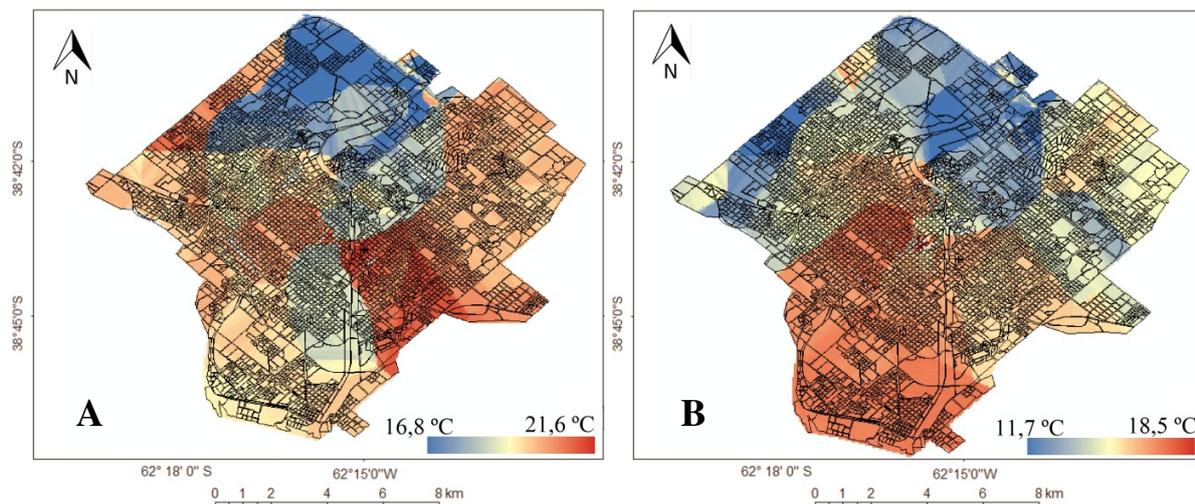


Fig. 5: Distribución espacial de la temperatura del aire en el invierno de 2014. (A: Diurna; B: Nocturna).

En la estación estival, durante el día, los edificios absorben la radiación y la presencia de islas térmicas se deben fundamentalmente al calor antrópico. Durante la noche, la ICU es más marcada porque los edificios emiten y transfieren la energía absorbida durante el día, haciendo que la ciudad se presente más cálida que su periferia. La energía emitida por estos edificios ocasiona una fuente artificial de calor que da como resultado la formación de islas de calor (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Por este motivo la ICU nocturna presentó amplitudes más marcadas que la diurna.

### 3.5. Confort climático actual de la ciudad de Bahía Blanca

El crecimiento poblacional de Bahía Blanca ha generado cambios en la confortabilidad de la población. Al aumentar el tamaño de la ciudad cambiaron las condiciones atmosféricas. En este contexto, la importancia del estudio de los índices de confort recae en que contribuyen con la planificación de las actividades que la población realiza al aire libre. Además, permiten establecer aquellos momentos en que los seres humanos experimentan momentos de confort climático (Bustos y Piccolo, 2011).

Mientras que en el verano de 1985 Bahía Blanca presentó una zona con temperaturas confortables en la zona costera durante todo el período de muestreo, en 2014 la situación fue diferente. Durante la mañana (7.00 hs) toda la superficie de la ciudad se presentó dentro del rango de temperatura confortable. A la hora de la máxima temperatura, la ciudad mostró un área superior al 99% de su cobertura con algún desconfort según el índice Humidex y un 1% de la ciudad mantuvo un gran desconfort. El habitante percibió una temperatura media de 35 °C con un mínimo de 31,4 °C y un máximo de 39,7 °C. Por otro lado, el THI presentó la totalidad de la ciudad con desconfort. El valor medio fue 35,6 °C y los valores oscilaron entre 38,2 °C y 33,4 °C. El desconfort se relaciona con la salud al considerar aquellas áreas que son climáticamente estresantes para la población, sobre todo para los grupos de mayor vulnerabilidad, como son los ancianos y los niños (Matzarakis, 2006).

En la noche se observaron las mayores diferencias en el confort urbano. El Humidex permitió establecer que un 41% del área urbana fue confortable, mientras que el 59% estuvo dentro del rango de algún desconfort. El índice Termohigrométrico mostró toda la ciudad dentro del rango de confortabilidad.

Las condiciones de invierno durante la mañana (7:30 h) presentaron una sensación térmica media de  $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un máximo de  $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un mínimo de  $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El máximo valor se localizó en el microcentro de la ciudad y los menores valores correspondieron a las zonas periféricas donde el viento fue mayor.

Durante las mediciones de la tarde (16.30 h) el índice de temperatura equivalente medio fue  $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un máximo  $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un mínimo  $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Al igual que en la mañana, las temperaturas fueron desconfortables. La diferencia media entre la temperatura del aire y la equivalente fue de  $6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un máximo de  $7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un mínimo de  $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Finalmente, la noche (20.00 h) presentó una diferencia media entre la temperatura del aire y el índice de temperatura equivalente de  $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un máximo de  $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un mínimo de  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Como en los casos anteriores, se presentaron momentos de desconfort.

#### 4. Conclusiones

Si se considera que los cambios meteorológicos analizados responden a factores meramente endógenos, se puede concluir que un aumento del área urbana modificó la distribución de la temperatura y la humedad relativa de la ciudad de Bahía Blanca como así también la situación de confort de sus habitantes. Con una superficie de  $52\text{ km}^2$  aproximadamente, en el verano de 1985, el centro de la ciudad fue más cálido que las zonas periféricas. La zona más confortable fue la costera y las diferencias de temperatura dentro de la ciudad no superaron los  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante las mediciones diurnas. En 2014, con más de  $110\text{ km}^2$  de zona construida, las diferencias en la distribución térmica fueron más marcadas. En 2014, el centro de la ciudad se presentaron las temperaturas más altas y las zonas más confortables fueron las periféricas y los parques.

Las mediciones de invierno no registraron diferencias considerables entre sí. Las temperaturas de 2014 fueron levemente más elevadas que las de 1985. Por ello, el índice de temperatura aparente en el último año mostró a la ciudad en el rango de desconfort durante todo el día.

Evidentemente el crecimiento de las edificaciones y el incremento de la población de esta ciudad durante los últimos 30 años generaron cambios en la atmósfera urbana. Los mismos modificaron la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa y con ello aumentó el desconfort de ciudadanos y turistas. Estos resultados constituyen un aporte significativo a los futuros planes de desarrollo urbano de la ciudad.

#### 5. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET) y a la Universidad Nacional del Sur (UNS) por el financiamiento del presente trabajo. Al Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS-CONICET) y a la NOAA por el suplemento de datos necesarios para la realización del mismo.

#### 6. Bibliografía

Alcoforado MJ y Andrade H (2006): Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:151-159.

Bustos ML y Piccolo MC (2011): Desconfort térmico en verano e invierno para la localidad de Pehuen Co, Argentina. *Nimbus, Revista de meteorología, Climatología y Paisaje*, 27/28:63-76.

Aliaga V, Ferrelli F, Alberdi Algora ED, Bohn VY y Piccolo MC (2016): Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica* (en prensa).

Capelli de Steffens A, Piccolo MC y Campo de Ferrera A (coord., 2005): *Clima urbano de Bahía Blanca*. Editorial Dunken, Buenos Aires.

- Carfan AC, Galvani E y Texeira Nery J (2012): Study of thermal comfort in the city of San Paulo using ENVI-met model. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 78:34-47.
- Chen X, Zhao H, Li P y Yin Z (2006): Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104:133-146.
- Deosthali V (1999): Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bio-climatic index. *Atmos. Environ.* 33:4125-4133.
- Dorighello Tomas D (2002): Estudio del comportamiento de la humedad relativa del aire en centros urbanos. *Boletín de la A.G.E.*, 33:159-170.
- Ferrelli F y Aliaga VS (2015): Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina. Trabajo de aplicación final de Especialización en teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio del medio ambiente. Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina, 81 pp.
- Ferrelli F, Bustos ML, Huamantincio Cisneros MA y Piccolo MC (2015a): Utilización de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Revista de Teledetección*, 44:31-42.
- Ferrelli F, Vitale AJ y Piccolo MC (2015b): Application of open source electronics for studying High Frequency Urban Heat Island. *Anuario do Instituto de Geociencias- UFRJ*, 38:70-80.
- Ferrelli F, Bustos ML, Piccolo MC (2016): La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos* (en prensa).
- Figuerola PI y Mazzeo NA (1998): Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. *Internacional Journal Climatology*, 18:1709-1723.
- García MC (2009): El clima urbano costero de la zona atlántica comprendida entre 37° 40' y 38° 50'S y 57 y 59° W Tesis de Doctor en geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Grimmond S (2007): Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173:83-88.
- INDEC (2010): Instituto Nacional de Estadística y Censos. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/> (Acceso: 16 de diciembre de 2011).
- Jáuregui E (2004): Impact of Land-use changes on the climate of the Mexico city region. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 55:46-60.
- Jáuregui E y Heres ME (2008): El clima/Bioclima de un parque periurbano de la ciudad de México *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 67:101-112.
- Jáuregui E (2009): The heat spells of Mexico city. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 70:71-76.
- Kassomenos PA y Katsoulis BD (2006): Mesoscale and macroscale aspects of the morning urban heat island around Athens, Greece. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 94:209-218.
- Lombardo MA (1997). Estudios interdisciplinarios, metodologías e técnicas de análisis do clima urbano. En CD del VI Encuentro de Geógrafos de América Latina, Buenos Aires, Argentina.
- Luber G y McGeehing M (2008): Climate change and Extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine* 35:429-435.
- Matzarakis A (2006): Weather and climate related information for tourism. *Tourism and Hospitalary Planning & Development*, 3:99-115.

NOAA (National Weather Service), Climate Prediction Center. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> (Acceso: 5 de marzo de 2016).

\*Olgay V (coord., 1998): *Arquitectura y Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Ed. G Gili, Barcelona, España.

Oke TR y Hannel FG (1970): The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *Urban Climatology*, 108:113-126.

Oke TR (1973): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7: 769-779.

Pérez González M, García Rodríguez P y Guerra Zaballos A (2003): Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 23:187-206.

Piccolo MC y Capelli de Steffens A (1985): Clima urbano bahiense: una experiencia de verano. Contribuciones científicas GAEA. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, 2:382-394.

Piccolo MC y Capelli de Steffens A (1987): Isla de calor invernal en Bahía Blanca. *Anales II Congreso Interamericano de Meteorología V CONGREGMET (Argentina)*, pp. 1-5.

Quayle RG y Steadman RG (1999): The Steadman Wind Chill: an improvement over present scales. *Proceedings 11<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology*, pp. 187-190.

Rivera-Arriaga E, Azuz-Adeath I, Alpuche Gual L y Villalobos-Zapata GJ (Eds., 2010): *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino*. Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad. Gobierno del Estado de Campeche, México.

Rosenzweig C, Solecki WD, Parshall L, Chopping M, Pope G y Goldberg R (2005): Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Environmental Hazards*, 6:51-62.

Santana L (2007): Landsat ETM+ image applications to extract information for environmental planning in a Colombian city. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 4225-4240.

Sepulveda Moreno, O (2006): Problemas ambientales de Santiago: Isla de calor y edificios de vidrios. *Boletín de Geografía*, 24:45-55.

Thom EC (1959): The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12:57-60.

Torok SJ, Morris CJG, Skinner C y Plummer N (2001): Urban heat island features of southeast Australian towns. *Australian Meteorological Magazine*, 50:1-13.

UNFPA (United Nations Population Fund) (2009): *State of world population 2009. Facing a changing world: women, population and climate*. United Nations Population Fund, New York, Estados Unidos.

\*Velasco E y Roth M (2010): Cities as net sources of CO<sub>2</sub>: Review of atmospheric CO<sub>2</sub> exchange in urban environments measured by Eddy Covariance Technique. *Geography Compass*, 9:1238-1259.

Weather Service of Environmental Canada (2001): <http://www.msc.ec.gc.ca/> (Acceso: 20 de mayo de 2014).

Wong N y Yu C (2005): Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29:547-558.

Yuan F y Bauer M (2007): Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106:375-386.

