

## Impactos del crecimiento de las ciudades en los balances energéticos urbanos. El caso de Tandil, Argentina (2004-2017)

### *Urban growth impact in the urban energy balances. The case of Tandil, Argentina (2003-2017)*

Picone, Natasha

#### **Natasha Picone**

Facultad de Ciencias Humanas – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires , Argentina

#### **Geográfica Digital**

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina  
ISSN-e: 1668-5180  
Periodicidad: Semestral  
vol. 18, núm. 35, 2021  
revista.geografica.digital@gmail.com

Recepción: 11 Marzo 2021

Aprobación: 05 Julio 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/615/6153528004/>

**Resumen:** El crecimiento de la población urbana hace de las ciudades espacios donde es muy importante actuar para mejorar su sostenibilidad. Para evaluar la sostenibilidad de las ciudades es importante conocer cuáles han sido los impactos del crecimiento pasado. La climatología urbana se centra en estudiar los cambios que generan las ciudades en los parámetros meteorológicos, siendo los balances energéticos urbanos [BEU] los que ayudan a explicar dichas variaciones. El objetivo de este trabajo es mostrar cómo el crecimiento de la ciudad de Tandil impactó en los BEU en el periodo 2004-2017.

Con la metodología WUDAPT se elaboraron mapas de Zonas Climáticas Locales para 2004 y 2017, con las que se analizó el patrón de crecimiento de la ciudad. A partir de dichas clasificaciones, datos meteorológicos y datos de densidad poblacional, se calcularon los BEU de la ciudad para cada año utilizando el módulo UMEP en el software QGIS 3.4, para analizar los efectos del crecimiento urbano sobre dichos parámetros y poder inferir los efectos en la climatología local de la ciudad.

Los principales resultados obtenidos mostraron un crecimiento y expansión de la ciudad hacia la periferia, con reemplazo de áreas verdes por zonas construidas de alta densidad y altura. En cuanto a los efectos sobre los BEU, se observó un aumento en el efecto de isla de calor, como consecuencia del aumento del calor sensible. Por otro lado, la reducción en el calor latente reduce el efecto regulatorio de las temperaturas, lo que lleva a mayores requerimientos energéticos para calentar y enfriar los ambientes.

**Palabras clave:** Balances energéticos urbanos, Crecimiento urbano, WUDAPT, Zonas Climáticas Locales.

**Abstract:** The growth of the urban population makes cities spaces where it is very important to act to improve their sustainability. To assess the sustainability of cities, it is important to know what the impacts of past growth have been. Urban climatology focuses on studying the changes that cities generate in meteorological parameters, with urban energy balances [UEB] being the ones that help explain these variations. The objective of this work is to show how the growth of the city of Tandil impacted the UEB in the period 2004-2017.

With the WUDAPT methodology, maps of Local Climate Zones were prepared for 2004 and 2017, with which the growth pattern of the city were analyzed. With these classifications, meteorological data and population density data, the UEBs of the city were calculated for each year using the UMEP module in the QGIS 3.4 software. In this way, the effects of urban growth were analyzed and help to infer the effects on the local climatology of the city.

The main results obtained showed a growth and expansion of the city towards the surrounding, with the replacement of green areas by built areas of high density and height. Regarding the effects on BEU, an increase in the heat island effect was observed, as a consequence of the increase in sensible heat. On the other hand, the reduction in latent heat reduces the regulatory effect of temperatures, which leads to higher energy requirements to heat and cool environments.

**Keywords:** Urban energy balance, Urban growth, WUDAPT, Local Climate Zones.

## 1. Introducción

Según las Naciones Unidas hoy en día las ciudades concentran más del 55 % de la población mundial y se espera que dicho valor llegue casi al 70 % para 2050 (Naciones Unidas, 2018), siendo las ciudades pequeñas e intermedias en las cuales se espera el mayor crecimiento. Las áreas urbanas ocupan sólo el 3 % de la superficie total de la Tierra, pero son las responsables por el 78% de consumo de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero (United Nations Habitat, 2020). Es por ello que para poder lograr las metas planteadas en el Acuerdo de París 2015 sobre el Cambio Climático es central entender los cambios en el ambiente urbano que genera el crecimiento de las ciudades (Bazaz et al., 2018).

Un aspecto central en entender el ambiente urbano es conocer los cambios que las ciudades generar en los climas regionales. Las áreas urbanas contienen una combinación de varias coberturas (áreas con distintas conformaciones de materiales) y morfologías (formas en las cuales se disponen las distintas coberturas) que cambian el ambiente natural, generando un clima particular en cada ciudad (Landsberg, 1981). Las principales variaciones que se han detectado son: efecto isla de calor urbana (mayores temperaturas en el centro de las ciudades con respecto a sus alrededores); reducción de la cantidad de humedad; cambios en la distribución y características de las precipitaciones, particularmente los efectos de lluvia ácida; reducción de las velocidades de los vientos y generación de túneles de viento o turbulencias según el tipo de morfología urbana existente; y la distribución espacial del confort climático, resultado de la combinación de temperatura, humedad y viento. Todas estas variaciones generan diferentes condiciones climáticas a las cuales se somete la población.

Estas variaciones climáticas se entienden estudiando los balances energéticos, que hacen referencia a la relación entre la radiación ingresante y los procesos que la misma genera en las áreas urbanas (Oke et al., 2017). La diferencia básica entre los balances energéticos de las distintas coberturas y en las ciudades define

la cantidad de energía que generan las actividades antropogénicas (residuos, combustión, sistemas de calefacción y refrigeración, procesos metabólicos de las personas) y que queda atrapada en el ambiente urbano. Esta cantidad de energía es conocida como flujo de calor antropogénico y es el principal responsable de los cambios en los balances energéticos urbanos [BEU]. Los BEU se resumen con la siguiente Ecuación 1:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_s$$

### Ecuación 1

Ecuación 1. BEU.

Donde,  $Q^*$  es la radiación neta,  $Q_F$  es el calor antropogénico,  $Q_H$  es el calor sensible,  $Q_E$  es el calor latente y  $\Delta Q_s$  es el almacenamiento de calor.

Los BEU pueden ser medidos o modelados. La primera metodología requiere de equipamiento costoso y con un mantenimiento constante. En cuanto a los modelos existen varios en uso, pero uno de los que ha tenido mayor repercusión es el Surface Urban Energy and Water Balance Scheme [SUEWS] (Järvi et al., 2014), que permite la simulación de los balances energéticos y los balances de agua a escala local. Analizar cómo han cambiado los balances energéticos en un periodo determinado permite estudiar los efectos concretos que han generado los cambios en las coberturas de las ciudades.

Para modelar los BEU en primera instancia se debe contar con una clasificación de los usos urbanos acorde con el trabajo a realizar. Dentro de la climatología urbana existe una metodología que permite caracterizar la forma y función de las áreas urbanas denominada Zonas Climáticas Locales [ZCL] (Stewart y Oke, 2012), cada ZCL se definen como:

“Regiones uniformes en cuanto a cobertura de superficie, estructura, materiales y actividad humana que se extienden por unos cientos de metros hasta varios kilómetros en la escala horizontal. Cada ZCL tiene un régimen térmico característico que es detectado sobre superficies secas, en noches calmas y despejadas, sobre áreas de relieve llano” (Stewart y Oke, 2012, p.1885).

Según esta clasificación existen 17 ZCL que se dividen en dos grupos: los “tipos constructivos” (clases del 1 al 10) en las cuales las áreas construidas prevalecen en las coberturas de los suelos; y los “tipos de cobertura de suelo” (de la A a la G) que se corresponde con coberturas “naturales” como bosques o áreas sembradas. Además, se pueden incorporar variaciones estacionales de cobertura, como en el caso de la nieve.

Existe un proyecto internacional para el mapeo de ciudades con esta metodología denominado WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools), cuyos objetivos son: generar una database mundial confiable y accesible sobre la forma y función de la morfología urbana relevante para estudios climáticos, meteorológicos y ambientales; y proporcionar un portal con herramientas que permitan extraer parámetros y propiedades urbanos relevantes para la aplicación de modelos según la escala correspondiente (Ching et al., 2018). Para llevarlo adelante es necesario el conocimiento de expertos locales, Google Earth, imágenes satelitales Landsat, SAGA SIG y las ZCL, (Bechtel et al., 2015).

Este trabajo analiza los efectos sobre los BEU producto del crecimiento urbano entre 2004 – 2017 para la ciudad de Tandil, Argentina. Para ello en primer lugar

se generaron dos mapas (2004 y 2017) de ZCL con la metodología WUDAPT. En segundo lugar, se modelaron los BEU utilizando el modelo SUEWS. Por último, se analizaron los cambios y sus magnitudes, para identificar los efectos más importantes.

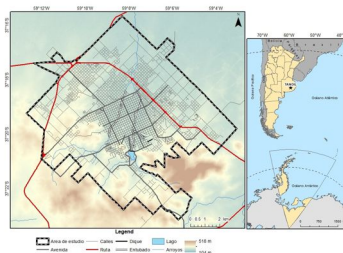
## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

La ciudad de Tandil ( $37^{\circ} 19' S - 59^{\circ} 07' O$ ) es cabecera de partido homónimo y cuenta con 116.916 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC], 2010). Está ubicada en el centro sur de la provincia de Buenos Aires y se emplaza en la cuenca media de los arroyos Blanco y del Fuerte, rodeada a su vez de oeste a sur por el sector central del Sistema de Tandilia (Figura 1). Se ubica dentro de los climas templados argentinos, con características de tipo chino (Picone, 2014), con una amplitud térmica inferior a los  $20^{\circ} C$  y diferencias estacionales marcadas, tanto térmicas como pluviométricas.

Tandil cuenta con una economía muy diversificada; la extracción de piedra en cercanías a la zona urbana se desarrolló hasta el año 2012, cuando la zona fue declarada Área de Paisaje Protegido por la provincia de Buenos Aires. La actividad secundaria está representada por las industrias metalmecánicas, las agroindustrias y las informáticas. El sector terciario es de gran importancia en servicios financieros, comerciales, educativos y turísticos cuyo auge surgió en los últimos 20 años.

El área de estudio seleccionada para este trabajo está determinada por los límites del área complementaria. Según la normativa vigente dicha área contiene la ciudad que actualmente está establecida y el área que la rodea que en un futuro cercano será ocupada por usos urbanos.



**Figura 1**

*Localización de la ciudad de Tandil.*

Fuente: Elaboración propia.

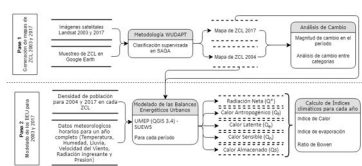
### 2.2. Metodología

La metodología WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) consiste en una clasificación supervisada de imágenes Landsat utilizando una serie de muestras generadas en el Google Earth por el especialista en el área de estudio. Dentro del software SAGA existe un módulo específico llamado Local Climate Zones Classification que genera la capa de zonas climáticas cuyos inputs son las zonas de muestra y las bandas del visible e infrarrojo cercano y

medio de las imágenes satelitales. Los productos pueden ser exportados a otros sistemas de información geográfica. En el caso de este trabajo se realizaron dos clasificaciones para los años 2004 y 2017, con imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 respectivamente y la herramienta de imágenes temporales del Google Earth. Con los mapas de ZCL de esos dos periodos se determinaron los cambios que se produjeron en los últimos 14 años en la ciudad de Tandil. Se calcularon las tasas de cambios y se analizaron cual es la probabilidad de cambio entre las ZCL.

A partir de los mapas de ZCL se procedió al modelado de balances energéticos urbanos. Para ello se utilizó el Pluggin UMEP en QGIS 3.4. UMEP, el cual es una Predictor de Ambiente Urbano Multi-escalar (Lindberg et al., 2018) que permite el modelado de diferentes aspectos del ambiente urbano en escalas locales, regionales y microescalas. En esta investigación se trabajó con los módulos relacionados con SUEWS para modelar balances energéticos urbanos. El primero utilizó los datos meteorológicos horarios para el año 2013 correspondiente a la estación meteorológica Tandil-AERO del Servicio Meteorológico Nacional y los parámetros utilizados fueron: temperatura, humedad, viento, radiación ingresante, precipitación y presión. Cabe destacar que la selección de los datos del año 2013 se debe a que representan un año climáticamente significativo ya que tuvo valores similares a las estadísticas climáticas del área. El segundo paso fue transformar los mapas de ZCL resultantes en parámetros morfométricos de la ciudad: morfología de área construida, fracción de cobertura y morfología de la vegetación. El tercer paso, fue determinar la densidad de población en habitantes por hectárea de cada área de modelado, en este caso se utilizaron datos provenientes del Censo Nacional de Personas, Hogares y Vivienda 2000 y 2010 (INDEC, 2010). Toda esta información fue compilada en una grilla que cubre toda la ciudad de Tandil en áreas de análisis de 1000x1000 metros. Con estos datos se realizó el modelado.

Se exportaron los datos 2004 y 2017 de cada uno de los componentes de los BEU: radiación neta, calor antropogénico, calor sensible, calor latente y almacenamiento de calor agrupados anualmente. Dichos archivos fueron procesados en el ArcGIS 10.6<sup>®</sup> y a partir de cálculos matemáticos se obtuvieron índices climáticos relevantes para el estudio que se llevó a cabo. En la Figura 2 se observa el diagrama que resumen la metodología utilizada en este trabajo.

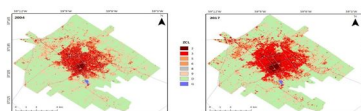


**Figura 2**  
*Esquema metodológico del trabajo.*  
 Fuente: Elaboración propia.

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis del crecimiento urbano período 2004 – 2017

En la Figura 3 se muestran los mapas de ZCL para el periodo analizado. En el mapa de 2004 se observa una ciudad densa y en altura en el centro del área y en alguna de las principales avenidas de circulación (ZCL 2), relacionadas a los centros comerciales de la ciudad. En cuanto a la generalidad de la ciudad se ve una ZCL 3, la cual se caracteriza por densamente construido, pero de baja altura (menos de 3 pisos). Los alrededores de la ciudad presentan construcciones dispersas (ZCL 6 y 9), ambas de baja altura. Es importante destacar que la ciudad se encuentra dentro del área agropecuaria de Argentina por lo que está rodeada de cultivos y en las zonas de las sierras la cobertura que predomina son arbustos bajos (ZCL D).



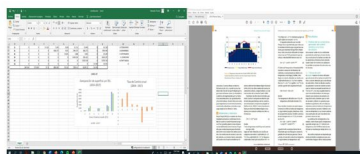
**Figura 3**

*Mapas de Zonas Climáticas Locales 2004 y 2017, ciudad de Tandil.*

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de 2017, indica que la ciudad ha conservado parte de su fisonomía, pero se ha expandido de una manera muy explosiva. La edificación en altura (ZCL 2) se ha expandido por las principales arterias de circulación y el centro neurálgico de la ciudad ha aumentado su tamaño considerablemente. El principal cambio se observa en las periferias donde la ZCL 3 ha reemplazado las ZCL menos densas sobre todo hacia el norte de la ciudad.

Para analizar los cambios ocurridos en este periodo de 13 años, se han calculado las superficies ocupadas por cada ZCL y la tasa de cambio de las mismas. Como se puede observar en la Figura 4, la ZCL 3 es la que ha presentado el mayor crecimiento absoluto y por lo tanto la mayor tasa de crecimiento, ocupando espacios de la ZCL 9 y D, las cuales pierden superficie. Otra área que crece de manera importante es la ZCL 2 la cual ocupa espacios de la ZCL 3. En menor medida la ZCL 6 crece reemplazando sobre todo espacios ocupados por ZCL D. Las superficies ocupadas por las ZCL 5 y 8 son muy reducidas por ellos los datos de tasas de cambio tienen poca representatividad en lo que sucede en la ciudad.



**Figura 4**

*Superficies por ZCL y tasa de cambio anual 2004 – 2017, ciudad de Tandil.*

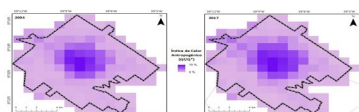
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Impactos de los cambios en la ciudad en los BEU

Entender los BEU, como se dijo previamente, ayudan a comprender los cambios en el clima que generan las ciudades. Evaluar cuáles son los efectos del crecimiento urbano sobre los BEU permiten no sólo saber qué ha pasado sino también permite saber qué tipo de cambios son los deseados para generar ciudades más sostenibles. Los resultados primarios del modelado se centran en los cinco componentes presentes en la fórmula de BEU (Ecuación 1), a partir de ellos se pueden obtener índices, relaciones entre los componentes, que ayudan a comprender mejor los efectos de los cambios de la ciudad (Alexander, Mills, y Fealy, 2015).

#### 3.2.1 Índice de Calor Antropogénico

El componente central que se incorpora en las ciudades en los BEU, es el flujo de calor antropogénico, que hace referencia a la liberación de energía calórica como consecuencia de las actividades urbanas, conocidas como metabolismo urbano (calefacción o refrigeración de edificios, circulación de vehículos y personas, procesos industriales y el metabolismo humano y animal). En la Figura 5 se visualiza dicha energía en proporción a la energía total del sistema urbano de la ciudad de Tandil.



**Figura 5**

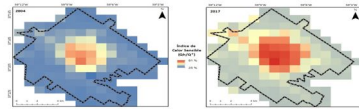
*Índice de Calor Antropogénico de la ciudad de Tandil, 2004 – 2017.*

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la figura anterior, el crecimiento de la ciudad, principalmente la expansión del área de mayor densidad edilicia hacia las periferias, produce que las áreas que rodean la ciudad pasen de casi no tener representación del flujo antropogénico a representar más del 10 % de la energía total. Uno de los principales aportantes de este tipo de energía es la utilización de transporte para moverse en la ciudad, en este caso se puede observar que varias arterias de circulación indica un fuerte aumento de energía antropogénica.

#### 3.2.2. Índice de Calor Sensible

El componente de calor sensible hace referencia al calor que puede ser percibido o medido a través de un termómetro. En el caso de análisis nuevamente se relaciona con el total de energía que existe en el sistema. Dicha relación muestra que a mayor proporción de energía como calor sensible se produce un aumento en el efecto de isla de calor. Esto se debe a que gran parte de la energía es sensible y por lo tanto la concentración de la misma genera puntos calientes (hot spots).



**Figura 6**

*Índice de Calor Sensible en la ciudad de Tandil, 2004 – 2017.*

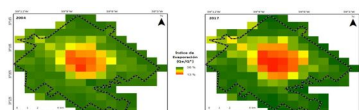
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se observan los cambios de este índice a lo largo del periodo estudiado. En primer lugar, el año 2017 presenta valores mínimos cercanos al 40 % a diferencia de lo que sucede en el 2004 que son del 25 %, esto se debe principalmente al aumento en las zonas periféricas de construcciones dispersas que en el inicio tenían menores dimensiones (ZCL 9). En segundo lugar, los valores sobre las principales arterias de circulación de la ciudad aumentan un 20 % la proporción de energía sensible, generando nuevos puntos calientes. Por último, el efecto más distintivo es el efecto en el centro de la ciudad, donde la densificación de la construcción y la reducción de las proporciones de áreas verdes (ZCL 2 y 3 en reemplazo de ZCL 6) genera un efecto más extenso en el espacio de la isla de calor, con aumentos superiores al 15 % en la proporción calor sensible.

### 3.2.3. Índice de Evaporación

El índice de evaporación es la proporción de energía latente con respecto a la energía total. La energía latente se hace referencia a la energía almacenada en distintos elementos que puede ser liberada en los cambios de estado de la materia. En general este tipo de energía está en relación a la capacidad de los elementos de retener agua, que es el elemento natural con mayor capacidad de almacenamiento de calor. Cuanto mayor es el valor de este índice, mayor es la cantidad de agua que se contiene en dicha porción de la superficie. El menor valor del índice indica que en dicha área la capacidad de retener agua es muy baja.

La Figura 7 muestra la distribución del índice de evaporación para el año 2004 (a la izquierda) y 2017 (a la derecha). La densificación, ZCL 2 y 3, genera el aumento de materiales como el concreto, asfalto y vidrio, los cuales tienen una muy baja capacidad de retener calor, ya que su comportamiento térmico es de rápida respuesta al calentamiento y enfriamiento según las circunstancias a las que son expuestas. Por lo tanto, tienden a tener altos valores de calor sensible y muy bajos de calor latente. Esta incapacidad de regular las temperaturas hace que las amplitudes térmicas de dichas áreas sea muy altas, por lo que los sistemas de enfriamiento y calentamientos de dichas áreas requieren una gran demanda de energía para poder mantener temperaturas constantes.



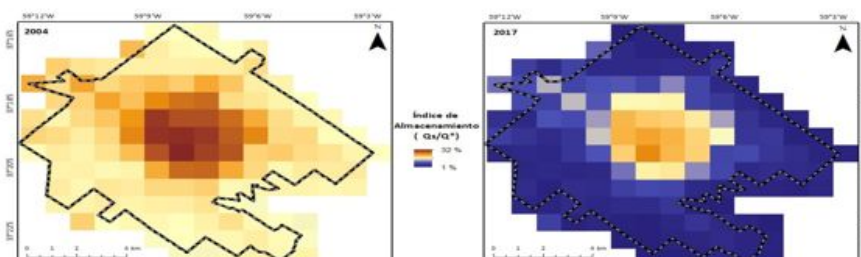
**Figura 7**

*Índice de evaporación en la ciudad de Tandil, 2004 – 2017.*

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. Índice de almacenamiento

El componente de almacenamiento de energía neta en la ecuación de BEU, se relaciona directamente con el componente de calor sensible, ya que hace referencia directamente al sustrato y la cantidad de energía que ese espacio tiene almacenado listo para ser liberado y transformado en calor sensible. La reducción en los valores de almacenamiento se traduce en un aumento de la temperatura. Si se comparan estos mapas (Figura 8) con los obtenidos para el índice de calor sensible (Figura 6), se registra un comportamiento inverso, mostrando que el aumento de la densidad baja disminuye la capacidad del área en almacenar calor y al mismo tiempo lo libera como calor sensible.



**Figura 8**

*Índice de almacenamiento en la ciudad de Tandil, 2004 – 2017.*

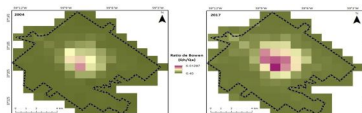
Fuente: Elaboración propia.

La disminución en el valor de almacenamiento se traduce en valores más bajos de calor latente (Figura 7). En general en las ciudades los elementos que tienen una gran capacidad de acumulación de energía son las áreas verdes (parques, plazas y centros de manzana), que generalmente se pierden al densificarse las áreas centrales. Es por ello importante que al producirse estos procesos en las ciudades, se conserven los espacios verdes, particularmente los centros de manzanas, para que la pérdida de la capacidad de almacenamiento de la ciudad no sea tan alta. Si esto se tiene en cuenta pueden ser reducidos los efectos de grandes diferencias térmicas a lo largo del día y el año, por lo que se podrían reducir los requerimientos energéticos, para el enfriamiento y el calentamiento de dichas áreas.

### 3.2.5. Ratio de Bowen

Por último, se presenta el Ratio de Bowen el cual relaciona directamente el calor sensible con el calor latente. Los valores bajos de este ratio son 'áreas donde el calor latente es más importante que el sensible y por lo tanto son áreas donde el almacenamiento de energía es más alto. En cambio, los valores más altos' del ratio presentan más calor sensible que latente, lo que nos lleva a pensar en menor almacenamiento de energía en coberturas verdes o azules.

La Figura 9, registra el Ratio de Bowen en 2004 y 2017. En 2004 gran parte de la ciudad tenía una gran capacidad de almacenar energía y de regular las temperaturas como consecuencia de la capacidad de calor latente. En 2017, con el crecimiento y la densificación sin mantener espacios verdes capaces de almacenar y regular las temperaturas, la energía sensible prevalece por sobre la latente.



**Figura 9**

*Ratio de Bowen en la ciudad de Tandil, 2004 – 2017.*

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la prevalencia del índice de calor sensible por sobre el índice de evaporación hace referencia a que la mayor proporción de la energía está concentrada en los procesos de calentamiento de la superficie y la atmósfera y no en la evaporación del agua. La reducción en los procesos evaporativos produce disponibilidad de agua que debe ser drenada de manera superficial en vez de almacenada en las plantas.

#### 4. Conclusiones

Este trabajo muestra, mediante un ejemplo concreto, los efectos del crecimiento urbano sobre los BEU. La relevancia del análisis de dichos balances radica en que permiten explicar los efectos climáticos de las ciudades de manera indirecta y ayudan a tener una idea acabada de los efectos de los cambios en la forma y función de las ciudades sobre el clima local.

En el caso de la ciudad de Tandil, se ha observado que el cambio producido en la ciudad durante los últimos 13 años ha causado importantes efectos sobre la climatología de la ciudad. En primer lugar, la densificación y sobre todo el reemplazo de las áreas verdes (sobre todo los centros de manzana) ha disminuido la capacidad térmica de determinadas áreas generando mayores amplitudes térmicas, que como consecuencia directa significa un aumento en el requerimiento energético para la calefacción y el enfriamiento de los ambientes urbanos. Por otro lado, la mayor proporción de energía destinada al calentamiento de las superficies y la atmósfera reduce la energía disponible para evaporación, lo que produce mayor cantidad de agua disponible que debe ser drenada superficialmente. Estos conocimientos pueden aportar a las políticas municipales destinadas a reducir los efectos de la ciudad sobre el ambiente y a su vez tener mayores herramientas para afrontar los efectos del cambio climático en el área.

Entender que estos datos aportan a una mejor planificación de las ciudades, es de suma importancia. En general en la literatura se hace énfasis sobre los efectos que tendrá el cambio climático global sobre las ciudades, pero es menor la importancia que se le da a las ciudades como generadoras de sus propios cambios en la climatología. En ese sentido, Oke et al. (2017) plantea que:

“Transformar la forma y la función de las ciudades para hacerlas más resilientes y que hagan un uso más eficiente de los recursos locales, es uno de los desafíos más importantes del siglo XXI. La climatología urbana puede ayudar a tomar decisiones informadas durante dicha transformación, por ejemplo, en el uso eficiente de energía y agua en las ciudades, mitigar y adaptarse al cambio climático global y combatir la contaminación urbana” (p.13).

En este sentido, estas investigaciones favorecen la adopción de medidas pasivas para limitar el uso de energías no renovables y la emisión de Gases de Efecto Invernadero, requisitos indispensables para lograr la sostenibilidad urbana.

Estas metodologías permiten, en base a la información obtenida, producir recomendaciones que eviten los desbalances térmicos. Se trata, por tanto, de pasar de los datos al enunciado de propuestas. Además, estas metodologías pueden ser replicadas fácilmente en otras ciudades lo que permitiría realizar análisis significativos sobre la temática. Su potencial radica en la posibilidad de evaluar distintos escenarios de crecimiento urbano a futuro, detectar sus posibles impactos y determinar patrones de crecimiento más sostenibles.

## Referencias bibliográficas

- Alexander, P. J., Mills, G. y Fealy, R. (2015). Using LCZ data to run an urban energy balance model. *Urban Climate*, 13, 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.05.001>
- Bazaz, A., Bertoldi, P., Buckeridge, M., Cartwright, A., de Coninck, H., Engelbrecht, F., Jacob, D., Hourcade, J. C., Klaus, I., de Kleijne, K., Lwasa, S., Markgraf, C., Newman, P., Revi, A., Rogeji, J., Schultz, D., Shindell, D., Singh, C., Solcki, W., Steg, L. y Waisman, H. (2018). *Summary for urban policymakers: What the IPCC Special Report on global warming of 1.5° C means for cities*. <https://doi.org/10.24943/SCPM.2018>
- Bechtel, B., Alexander, P. J., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L. y Stewart, I. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4 (1), 199 – 219. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010199>
- Ching, J., Mills, G., Bechtel, B., See, L., Feddema, J., Wang, X., ... y Theeuwes, N. (2018). WUDAPT An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthropocene. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(9), 1907–1924. [https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals\\$002fbams\\$002f99\\$002f9\\$002fbams-d-16-0236.1.xml?t:ac=journals%24002fbams%24002f99%24002f9%24002fbams-d-16-0236.1.xml](https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals$002fbams$002f99$002f9$002fbams-d-16-0236.1.xml?t:ac=journals%24002fbams%24002f99%24002f9%24002fbams-d-16-0236.1.xml)
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo Nacional 2010*. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- Järvi, L., Grimmond, C. S. B., Taka, M., Nordbo, A., Setälä, H. y Strachan, I. B. (2014). Development of the Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUEWS) for cold climate cities. *Geoscientific Model Development*, 7(4), 1691 - 1711. <https://gmd.copernicus.org/articles/7/1691/2014/>
- Landsberg, H. E. (1981). *The Urban Climate*. Academic Press.
- Lindberg, F., Grimmond, C. S. B., Gabey, A., Huang, B., Kent, C. W., Sun, T., Theeuwes, N. E., Järvi, L., Ward, H. C., Capel Timms, I., Chang, Y., Jonsson, P., Krave, N., Liu, D., Mayer, D., Olofson, K. F. G., Tan, J., Wästberg, D., Xue, W. y Zhang, Z. (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling & Software*, 99, 70 – 87. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>
- Nacionales Unidas. (2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo*. Departamento de Asuntos Económicos y

- Sociales*. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. y Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Picone, N. (2014). *Clima urbano de la ciudad de Tandil* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina].
- Stewart, I. y Oke, T. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bullentin American Meteorological Society*, 93(12), 1879 – 1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- United Nation Habitat. (2020). *Annual report 2019*, Nairobi, Kenya.