

Influencia de la vegetación en el microclima urbano: Estudio con UWG para la Ciudad de Rosario (Argentina).

Influence of vegetation on the urban microclimate: Study with UWG for Rosario city (Argentina).

Camila Gala Pizzorno Lerma

Laboratorio de Eficiencia Energética, Sustentabilidad y Cambio Climático (LESyC)- Instituto Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE)- Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA)- Universidad Nacional de Rosario (UNR).
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
pizzorno.c@gmail.com

Dante Paterno

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
dantepaterno94@gmail.com

Marina Andrea García

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
marinagarcia95@hotmail.com

Aldana Pliner

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
aldanapliner@gmail.com

Marina Rivosecchi

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
marinarivosecchi@gmail.com

María Luz Domínguez

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
luzdominguezmaria@gmail.com

Sasha María Ruiz

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
smrmengibr@gmail.com

Marcelo G Vega

LESyC- IMAE- FCEIA- UNR
Riobamba y Berutti- Rosario (2000)
mvega@fceia.unr.edu.ar

Agnese Salvati

Institute of Energy Futures, Brunel University London
Kingston Lane, Uxbridge UB8 3PH UK
Agnese.Salvati@brunel.ac.uk

Código del manuscrito: 07_002

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumen

El confort térmico exterior es un importante factor para el uso de los espacios públicos urbanos (EPU) ya que contribuyen a mejorar la calidad de vida dentro de las ciudades favoreciendo también la inclusión social. El confort térmico de los EPU está condicionado por el clima y por las características de morfología urbana.

En el presente estudio se analizó la influencia de la vegetación en la temperatura del aire atmosférico en verano en tres zonas de la ciudad de Rosario, siendo la zona 1 la más densamente edificada y la zona 3 menos compacta. El software UWG se utilizó para el cálculo de la temperatura urbana atmosférica. En cada zona se planteó un escenario con la máxima vegetación posible y se evaluó su efecto en la temperatura del aire.

Los resultados indicaron una disminución de la temperatura atmosférica de 0,4°C durante las horas diurnas para el caso de estudio de la zona 2. Para la zona 3 se lograron disminuciones mayores de la temperatura, obteniéndose una diferencia de temperatura de 1°C. En la zona 1 al aumentar la vegetación sólo se produjo una disminución de 0,1°C.

Se puede inferir que el aumento del flujo de calor latente debido a la vegetación no es suficiente para contrarrestar la elevada temperatura urbana atmosférica en los casos analizados debido a los otros flujos de calor sensible urbanos. Por otro lado, el balance de calor latente en UWG se computa de manera simplificada y su aporte positivo en la isla de calor urbana podría ser subestimado. Queda para futuras investigaciones averiguar la influencia de otras características urbanas como el albedo y espesor del pavimento, materiales y eficiencia energética de los edificios, trabajando de manera conjunta con otros modelos micro climáticos de simulación que resulten más sensibles al parámetro analizado.

Palabras claves: Isla de calor urbana, Confort térmico exterior, Microclima urbano, Temperatura atmosférica, Diseño urbano

Abstract

The control of outdoor thermal comfort is an important task to ensure the quality of urban public spaces (UPS). The thermal optimization of UPS is vital for the urban design and planning process as it contributes to the quality of life in cities. The thermal comfort in UPS depends on climate and several urban components.

In this research the influence of vegetation on urban air temperature is analyzed. The investigation is focused on the summer season, considering three urban areas located in the city of Rosario. The 1st area has the highest building density, whereas the 3rd area has the lowest. Urban air temperatures were calculated with the Urban Weather Generator (UWG) software. A maximum vegetation scenario was evaluated in each area and the effect of the increase of vegetation on air temperatures was calculated.

Results show a temperature decrease of 0,4°C during daytime in the 2nd area. In the 3rd area, greater decreases in atmospheric temperatures were achieved, obtaining a temperature difference of 1°C. In the 1st area the vegetation increase generated a decrease of 0,1°C.

We can infer that the increment in the latent heat flux due to vegetation is not sufficient to counteract the urban temperature rise due to the other urban sensible heat fluxes. Nevertheless, the latent heat balance in UWG is computed in a simplified manner and its positive contribution on the urban heat island intensity could be underestimated. The influence of urban characteristics (such as albedo and pavement thickness), envelope and energy efficiency of buildings on the urban heat island effect will be investigated in future research; and using different microclimatic simulation softwares that have more sensitivity to the parameters.

Keywords: Urban heat island, outdoor thermal comfort, urban microclimate, atmospheric temperature, urban design

Introducción

Existe un fuerte interés público en la calidad de los EPU y se reconoce que pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes en las ciudades como así también disminuir el aislamiento y la exclusión social que se produce en ellas (Nikolopoulou, M., Lykoudis, S., 2005). Por lo tanto, es de fundamental importancia lograr obtener un confort térmico exterior la mayor parte del tiempo posible, para que las personas puedan tener el mayor tiempo de disfrute del EPU. Dicho confort está condicionado a través de factores personales (comportamiento humano, tipo de vestimenta, metabolismo, etc) y factores ambientales (temperatura atmosférica, humedad, temperatura radiante, velocidad y dirección del viento, etc) (ASHRAE, 2015), como también por factores climáticos a mesoescala (precipitaciones, luz, aire, entre otros) . Además, existe un gran impacto de la

configuración urbana sobre el ambiente térmico local por alteración del balance de energía, donde la expansión del desarrollo urbano no planificado puede intensificar el fenómeno de la isla de calor urbana (Yue, W. et al., 2019; Salvati, A. et al., 2015).

Existen numerosos métodos para evaluar el confort térmico exterior, entre los cuales podemos mencionar el Índice de stress térmico (el cual representa un indicador entre la relación del sudor necesario para mantener la temperatura corporal en equilibrio); el Voto medio predictivo (basado en el modelo de confort de Fanger) y la Temperatura efectiva estándar, la cual es una adaptación al índice efectivo interior (Negin Nazarian, 2019).

Se puede enfatizar en que optimizar la temperatura atmosférica dentro de un cierto rango y tiempo de exposición puede contribuir al confort en los EPU y aportar al diseño urbano y paisajístico (Cheung, P., Jim, C., 2019).

Además, la vegetación urbana y los árboles (efecto de las sombras proyectadas sobre las superficies urbanas) pueden mitigar el estrés térmico en climas cálidos modificando el enfriamiento por radiación y evaporación, aunque se reduce la velocidad del viento a nivel peatonal (Nazarian, N. et al., 2019).

A medida que las ciudades se desarrollan, la superficie urbana se llena de edificaciones, conformando de esta manera cañones limitados por bloques densos y compactos. Los terrenos naturales se reemplazan con materiales de construcción artificial. Estas modificaciones en la morfología urbana y los materiales de superficie conducen a temperaturas más cálidas en las ciudades que en las zonas rurales durante la noche, un fenómeno conocido como efecto de Isla de Calor Urbana (ICU) (Nakano, A. et al., 2015).

El presente estudio analiza cómo la variación de la vegetación urbana y del arbolado de línea, en una zona de estudio en la ciudad de Rosario, influye en la variación de la temperatura ambiente atmosférica aplicando el software de simulación Urban Weather Generator 4.1 (UWG), (Bueno, B. et al., 2015). El mismo calcula las temperaturas del aire urbano utilizando información meteorológica medida en una estación meteorológica rural operacional y calcula las interacciones recíprocas entre edificación y el clima urbano, entre los cuales está la vegetación urbana.

Estado del arte del problema

El aumento de vegetación en el cañón urbano para disminuir la isla de calor en el microclima urbano ha sido investigado intensivamente durante décadas. Muchas mediciones de campo del microclima alrededor de un EPU han revelado que la vegetación disminuye la temperatura tanto del aire como de la superficie de la vegetación en comparación con áreas circundantes debido a características como la evapotranspiración, la poca capacidad calorífica y la atenuación de la radiación (Sugawara, H. et al., 2008). El sombreado y la reducción de la irradiación solar producida por los árboles ha sido modelizado numéricamente en 3D y testeado con mediciones al exterior concluyendo que la presencia del arbolado contribuye al confort térmico peatonal (Giridharan, R. et al., 2008). Un análisis del sombreado de fachadas y de vegetación sobresaliente permite establecer una disminución sensible del periodo de tiempo y del área del desconfort térmico (Ali- Touder, F., Mayer H., 2006).

No obstante, las determinaciones del presente trabajo sobre una estrategia pasiva de enfriamiento urbano de la vegetación urbana tienden a ser un aporte a diversas condiciones in situ, como la geometría y las características materiales de los sitios de medición en calles urbanas y las condiciones meteorológicas de fondo (Park, M. et al., 2012). Sin embargo, la evidencia científica a nivel de ciudad es escasa, aunque se ha reconocido la importancia del patrón espacial de espacios verdes urbanos para mitigar el efecto UHI a nivel de ciudad (Li, X., Zhou, W., 2019). Esta falta de información se acentúa aún más en la ciudad de Rosario (Argentina) donde se presenta el caso de estudio de simulación con UWG. Asimismo, la confiabilidad del UWG ha sido evaluada con éxito para las simulaciones de la ICU en diferentes ciudades (Salvati, A. et al., 2016; Mao, J. et al., 2017).

Metodología

1 Definición del área de estudio:

El presente estudio se desarrolla en la ciudad de Rosario. La ciudad de Rosario está ubicada en la zona sur de la provincia de Santa Fe, República Argentina, entre los siguientes puntos extremos:

- Latitud: Paralelo 32° 52' 18" Sur y 33° 02' 22" Sur.
- Longitud: Meridiano 60° 36' 44" Oeste y 60° 47' 46" Oeste.
- Altitud sobre el nivel del mar: Oscila entre los 22,5 Y 24,6.

Su población actual estimada asciende a 992.323 habitantes (año 2017) tomando como referencia el censo de 2010 (Municipalidad de Rosario, 2019). El clima en la ciudad de Rosario y alrededores, se cataloga como templado pampeano, sin estaciones bien definidas, correspondiendo a la clasificación climática de Köppen- Geiger Cfa- Verano cálido, con lluvias distribuidas durante todo el año sin presencia de una estación seca. De todos modos, se registran mayores temperaturas en los meses de noviembre a marzo y una temporada fría entre junio y julio. Se encontraron mayores precipitaciones durante el período estival, con un total de entre 800 y 1.000 mm anuales.

Estación	Características	Temperatura máxima absoluta registrada (°C)	Temperatura mínima absoluta registrada (°C)
Verano	Caluroso a mediodía y en las primeras horas de la tarde. Templado en las mañanas y las tardes. Fresco durante las noches.	40.7	5.1°
Otoño	Templado a mediodía y en las primeras horas de la tarde. Fresco durante el resto del día. Frío en las noches.	37° C	-5.6° C
Invierno	Fresco durante el día. Frío en las noches.	33.4° C	-8.1° C
Primavera	Templado a mediodía y en las primeras horas de la tarde. Fresco durante el resto del día. Frío en las noches.	39.5° C	6.3° C

Tabla 1: Características de las estaciones en Rosario, Santa Fe, Argentina. Fuente: Municipalidad de Rosario. Fuente: Municipalidad de Rosario <https://www.rosario.gob.ar/web/ciudad/caracteristicas/clima>

Se presenta en la **Figura 1** el climograma de la ciudad de Rosario, con la distribución de la precipitación media mensual y de la temperatura durante todo el año.

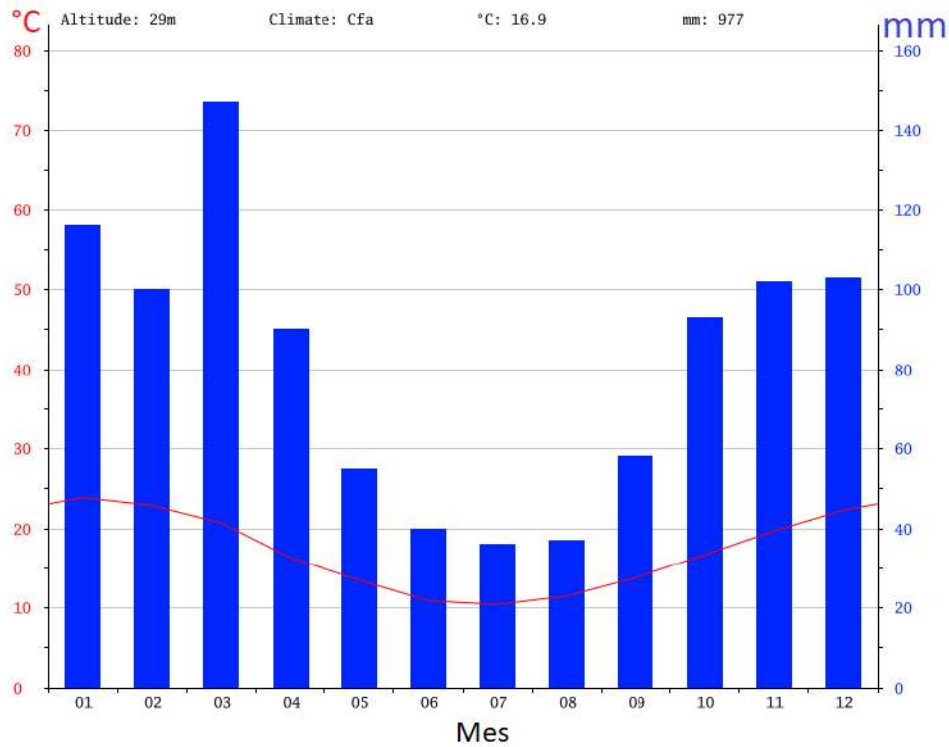


Figura 1: Climograma de la ciudad de Rosario (Argentina). Se observa que la zona del año con menor precipitación es durante el mes de Julio, con un promedio de 36 mm, siendo el periodo de mayor precipitación en el mes de marzo con un promedio de 147mm. (Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/argentina/santa-fe/rosario-1908/#climate-graph>).

En la **Figura 2** se observa el comportamiento de la temperatura media para los diferentes meses del año en la ciudad de Rosario.

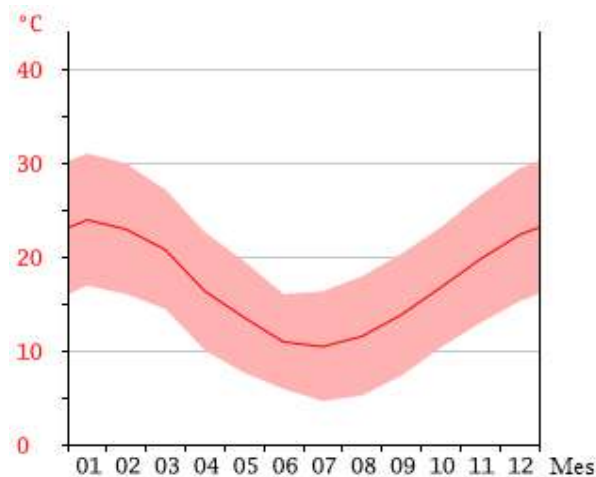
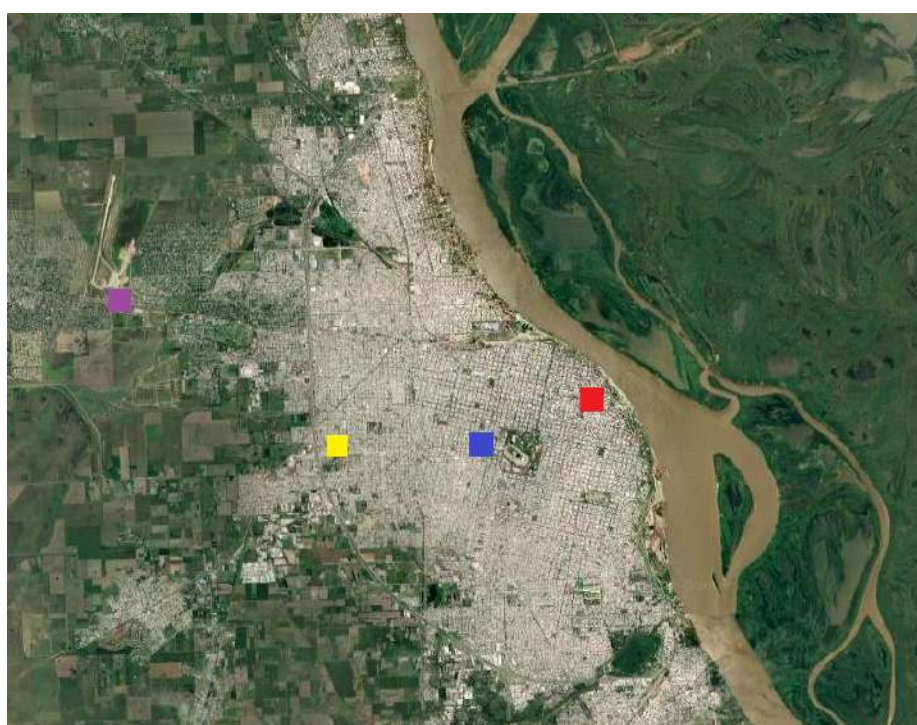


Figura 2: Diagrama de temperatura de Rosario: Durante el mes de enero se define la mayor temperatura media mensual con 23.9°C y para el mes de Julio corresponde el mes más frío del año con una temperatura media mensual de 10.4°C (Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/argentina/santa-fe/rosario-1908/#climate-graph>).

El análisis del presente trabajo está emplazado sobre la ciudad de Rosario. Se analizan tres zonas de estudio diferenciadas por sus características urbanas y de vegetación.

La zona 1 de estudio pertenece al Anillo Central de la ciudad de Rosario, siendo dicho sector donde se registran las mayores temperaturas de la ciudad (Vega, M. et al., 2019). Este damero se encuentra comprendido entre las calles Rioja al Norte, 9 de Julio al Sur, Corrientes al Oeste y Maipú al Este, incluyendo en su extensión la Plaza Santiago Montenegro y la Plaza Sarmiento. Dicho zona 1 de estudio presenta la mayor altura promedio (12.30 metros), la mayor densidad urbanística (0.661), mayor espesor de pavimento (0.50metros), una menor área de cobertura vegetal y de árboles que las otras dos zonas de estudio.

En la **Figura 3** se presenta la localización de las zonas en el mapa de ciudad de Rosario. En la **Figura 4** se presentan las zonas urbanísticas de la ciudad.



■ Zona 1 ■ Zona 2 ■ Zona 3 ■ Estación rural de referencia

Figura 3: Imagen satelital 2013 ciudad de Rosario (Argentina). El símbolo de color rojo representa la localización de la zona 1 de estudio (perteneciente al Área Central de la ciudad de Rosario), el color azul la zona 2 (Primer Anillo Perimetral), el color amarillo la zona 3 (Segundo Anillo Perimetral) y el símbolo de color violeta la ubicación de la estación meteorológica de referencia (ubicada en el Aeropuerto Internacional Islas Malvinas de la ciudad de Rosario).



NORMAS URBANÍSTICAS DE LA CIUDAD DE ROSARIO
PLANO Nº16. PLANO INDICATIVO DE CARÁCTER TRANSITORIO.



Figura 4: Imagen de las zonas urbanísticas de Rosario. Fuente: <http://infomapa.rosario.gov.ar/emapa/mapa.htm>

En la **Figura 5** se presenta la Zona 1 perteneciente al Área Central de la ciudad.



Figura 5 Izquierda: Imagen de Infomapa de la zona 1 de estudio, la misma pertenece al Área Central, delimitada al norte por la calle Ríoja, al sur por la calle 9 de Julio, al oeste por la calle Corrientes y al este por la calle Maipú. Derecha: Imagen Satelital de la zona de estudio.

Para el caso de estudio denominado zona 2, la misma corresponde al 1° Anillo perimetral al Área Central de la ciudad de Rosario (<https://www.rosario.gob.ar/web/ciudad/arquitectura-y-urbanismo/normas-urbanisticas>), la misma presenta indicadores urbanos de menor cuantía en referencia a la zona 1. En la **Figura 6**, se presenta la zona 2 de caso de estudio sobre la ciudad de Rosario. La misma está delimitada por las calles Riobamba al Norte, Gálvez al sur, Iriondo al Oeste, y Suipacha al Este. Presenta una altura promedio de edificación de 5.12 metros.



Figura 6: Izquierda: Imagen de Infomapa de la zona 2 de estudio, la misma pertenece al 1° Anillo Perimetral, delimitada por la calle Riobamba al Norte, Gálvez al Sur, Iriondo al Oeste, y Suipacha al Este, Derecha: Imagen Satelital de la zona de estudio. Se observa una menor densidad edilicia en comparación con la zona 1.

En cuanto a la zona 3 la misma corresponde al 2° Anillo perimetral al Área Central de la ciudad de Rosario, y presenta valores de características urbano-edilicias y de infraestructura menores a los obtenidos en las zonas 1 y 2.

En la **Figura 7** se presenta la zona 3. Presenta una altura promedio de edificación de 3.36 metros. Altura sensiblemente inferior a la de la zona 2 (5.12mt).



Figura 7: Izquierda: Imagen de Infomapa de la zona 3 de estudio, la misma pertenece al 2° Anillo Perimetral, delimitada por la calle Cerrito al Norte, 27 de febrero al Sur, Colombia al Oeste y Fraga al Este, Derecha: Imagen Satelital de la zona de estudio. Se observa una menor densidad edilicia en comparación con la zona 2.

2 Relevamiento de campo.

Se realizó un relevamiento de campo de las áreas de estudio consideradas haciendo principal énfasis en el análisis de la morfología edilicia según usos (oficinas, departamentos, escuelas, mercados, comercios, etc), cobertura vegetal y tráfico vehicular. Se consideraron, además, los parámetros meteorológicos de la ciudad.

Se realizó modelización de las manzanas comprendidas en las zonas de estudio con software Rhinoceros 5.5.

Con los datos obtenidos se generaron los parámetros requeridos para las simulaciones con el Software "Urban Weather Generator"

3 Software utilizado

3.1 - Urban Weather Generator (UWG)

Fue desarrollado por (Bueno, B. et al., 2012) (se utilizó la versión 4.1 actualizada en junio 2016, basado en la tesis de maestría de Joseph Yang (2016). Los cambios incluyen la actualización del algoritmo interno (principalmente la posibilidad de utilizar diferentes tipologías edificatorias y datos de tráfico), y el cambio de formatos de archivo de entrada (Excel) y salida (XML, Matlab, Excel).

Este software permite la generación de datos meteorológicos urbanos, teniendo en cuenta los efectos que las actividades antropogénicas tienen sobre el clima del lugar. Siendo necesarias las descripciones contenidas en un archivo de clima con extensión .epw de la estación meteorológica rural de referencia y un archivo de extensión .xml que describa las características del sitio urbano y rural.

Dentro de este último (el archivo xml) se encuentran 4 parámetros a completar con los datos recogidos del caso de estudio: a) Parámetros meteorológicos, b) Parámetros urbanos (morfología, transporte, materiales, tipologías de edificación), c) Parámetros de vegetación, d) Parámetros de simulación.

- a. Los parámetros meteorológicos.
- b. Los parámetros urbanos incluyen las propiedades constructivas de las edificaciones obtenidas por el relevamiento de campo realizado, así como los programas de uso horario de los edificios y tiene en cuenta los datos morfológicos (Altura promedio, Compacidad Urbana, Densidad Vertical) entre otros como la Fracción residual del calor, Max Dx, el Albedo de la calle, el Espesor del suelo.
- c. Los parámetros de vegetación incluyen los relacionados con la cobertura vegetal de la superficie urbana, tanto arbolado como césped, teniendo en cuenta los que se localizan en las veredas como los parques aledaños.
- d. Los parámetros de simulación definen las condiciones de salida del archivo térmico, pudiendo definir en el rango en el cual estudiar el fenómeno.

3.2 - Rhinoceros 5.5

Este software se utilizó para el modelado 3d de las manzanas que constituyen el área de estudio, dicho proceso se desarrolló de la siguiente manera:

- a. Descarga de la información catastral de las manzanas y de cada uno de los lotes que se encuentran en ellas. Fuente: <http://infomapa.rosario.gov.ar>
- b. Verificación dicha información a través del relevamiento del lugar y de la información obtenida de Google. <https://earth.google.com/web/>
- c. Realización de las polilíneas para extruir los bloques según las medidas corroboradas en el punto b).
- d. Separación con diversos colores las edificaciones según tipología (las tipologías utilizadas son las cedidas por el UWG, las cuales fueron explicadas en el ítem anterior). La definición de tipologías se presentan en la **Figura 8**.

- e. Carga de datos de cada lote en una planilla de Excel: número de lote, tipología, superficie del lote, superficie cubierta total, superficie cubierta según tipología, número de pisos (de cada lote) según tipología, altura de pisos (de cada lote) según tipología, área superficie cubierta total (de cada lote) según tipología y fachadas.
- f. Armado de la planilla “resumen” de cada manzana para simulación de los escenarios.
- g. Compilación de cada uno de los modelos 3D de las manzanas. Se puede observar la morfología urbana completa e integral. Ver en la **Figura 9**.
- h. Compilación de las planillas “resumen” de las manzanas. Armado de planilla “resumen” global del cañón urbano en estudio. En la **Figura 10** se presenta la planilla “resumen” global.
- i. Carga de datos a software UWG. En la **Figura 11** se presenta la planilla global en la interfaz del UWG para simular el caso base de la zona 1 de estudio.

Resultados

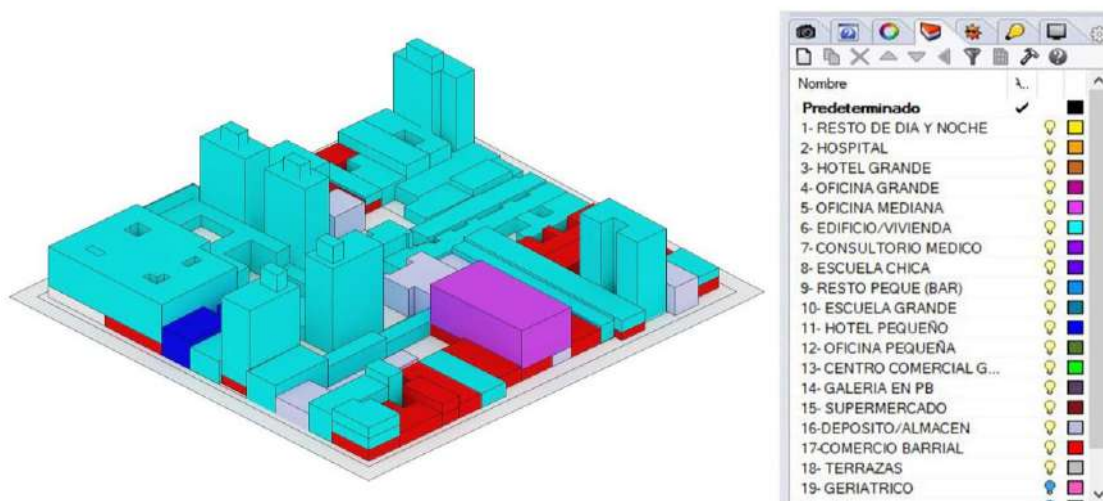


Figura 8: Modelo 3D finalizado de la manzana 205, que se encuentra entre las calles: Mendoza al norte, 3 de Febrero al sur, Mitre al oeste y Sarmiento al este. En la tabla de la derecha se observan las tipologías utilizadas, de las propuestas por el UWG, discriminadas por color. La manzana correspondiente a la zona 1 de estudio.

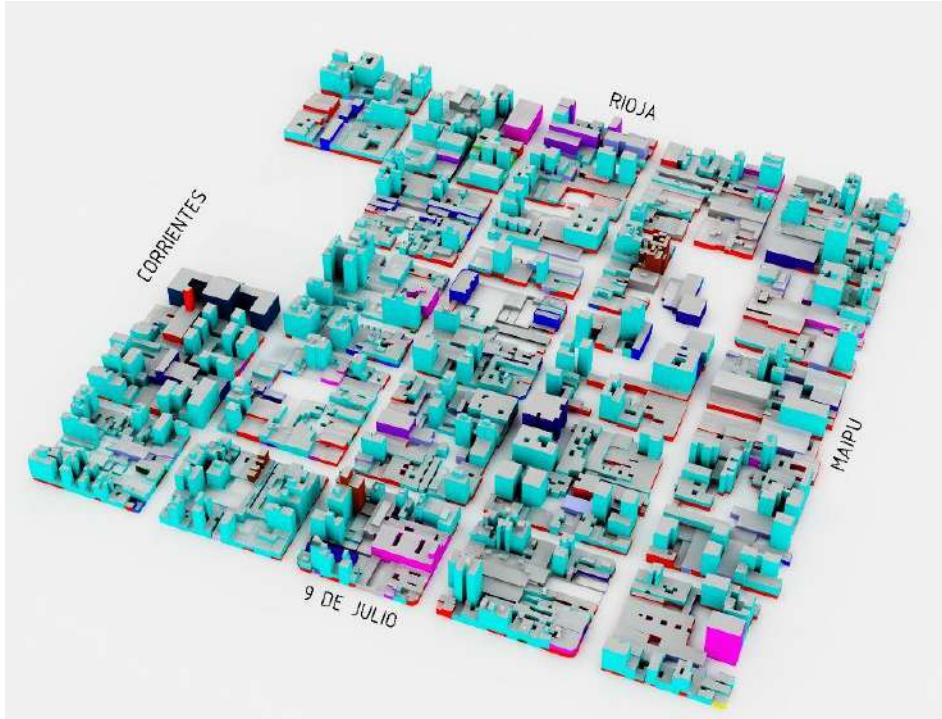


Figura 9: Modelo 3D de la zona 1 de estudio.

ZONA CLIMATICA		3A	
TIPOLOGIA	AREA (m2)		
comercio	154319,13	BLD13	
deposito	72125,24	BLD16	
hotel pequeño	50023,11	BLD11	
vivienda	441768,88	BLD6	
escuela grande	2742,41	BLD10	
escuela pequeña	29360,21	BLD8	
resto pequeño	4029,46	BLD9	
supermercado	1994,86	BLD15	
consultorio medico	2020,21	BLD7	
oficina pequeña	38985,93	BLD12	
oficina mediana	996,54	BLD5	
oficina grande	8918,05	BLD4	
hospital	1910,66	BLD2	
volumen total edificado		3242872,68	
superficie lotes		337165,73	
superficie urbana		432445,48	
superficie cubierta		263650,70	
arbolado		27937,44	
cesped		16973,81	
fachadas		592191,72	

PARAMETROS URBANOS		
1-Altura promedio	12,300	m
volumen/sup total cubierta		
2-Fraccion residual del calor	1	
3-Compacidad Urbana	0,610	
sup cubierta/sup urbana		
4-Densidad Vertical	1,369	
fachadas/sup urbana		
5- Morfología Urbana	1000	m
6-Max Dx	250	m
7-Road Albedo	0,15	
8-Espesor del suelo	0,50	m
9-Calor max. Trafico	20	W/m2
10-Calor max. Personas	2	W/m2

PARAMETROS VEGETACION	
1-Densidad Vegetacion	0,039
sup. Césped/ sup urbana	
2-Densidad Vegetacion	0,065
sup. Arboles/ sup. Urbana	
3-Arranque meses cálidos	10
4-Final meses cálidos	4
8-Vegetacion zona rural	0,90

Figura 10: Planilla de "resumen" global correspondiente a la zona 1



Urban Weather Generator Parameters			Traffic Schedule				Building Types				Total Floor Area (m ²)			Total Floor Area (%)			
Urban Characteristics	Value	Unit	Hr	WD	Sat	Sun	No.	DOE Building Type	Floors	Area (m ²)	Pre-80	Post-80	New	Pre-80	Post-80	New	
Microclimate Parameters	Urban Boundary Layer Height - Day	1000	m	1	0,2	0,2	0,2	BLD1	FullServiceRestaurant	1	511	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%
	Urban Boundary Layer Height - Night	50	m	2	0,2	0,2	0,2	BLD2	Hospital	5	22.422	1.911	0	0	0,2%	0,0%	0,0%
	Inversion Height	150	m	3	0,2	0,2	0,2	BLD3	LargeHotel	6	11.345	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%
	RSM Temperature Reference Height	2,6	m	4	0,2	0,2	0,2	BLD4	LargeOffice	12	46.320	8.918	0	0	1,1%	0,0%	0,0%
	RSM Wind Reference Height	10	m	5	0,2	0,2	0,2	BLD5	MediumOffice	3	4.982	997	0	0	0,1%	0,0%	0,0%
	Circulation Coefficient	1,2	-	6	0,4	0,3	0,3	BLD6	MidriseApartment	4	3.135	441.769	0	0	54,9%	0,0%	0,0%
	UCM-UBL Exchange Coefficient	0,3	-	7	0,7	0,5	0,4	BLD7	OutPatient	3	3.804	2.020	0	0	0,3%	0,0%	0,0%
	Day Threshold (for UBL night/day)	150	W/m ²	8	0,9	0,5	0,4	BLD8	PrimarySchool	1	6.871	25.550	0	0	3,2%	0,0%	0,0%
	Night Threshold (for UBL night/day)	50	W/m ²	9	0,9	0,5	0,4	BLD9	QuickServiceRestaurant	1	232	4.029	0	0	0,5%	0,0%	0,0%
	Minimum wind velocity	1	m/s	10	0,6	0,5	0,4	BLD10	SecondarySchool	2	19.592	2.742	0	0	0,3%	0,0%	0,0%
Rural Average Obstacle Height	0,1	m	11	0,6	0,5	0,4	BLD11	SmallHotel	4	4.014	50.023	0	0	6,2%	0,0%	0,0%	
Urban Characteristics	Average Building Height	12,3	m	12	0,6	0,5	0,4	BLD12	SmallOffice	1	511	38.986	0	0	4,8%	0,0%	0,0%
	Fraction of waste heat into canyon	1	-	13	0,6	0,5	0,4	BLD13	Stand-aloneRetail	1	2.294	154.319	0	0	19,2%	0,0%	0,0%
	Building Density	0,661	-	14	0,6	0,5	0,4	BLD14	StripMall	1	2.090	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	
	Vertical to Horizontal Ratio	1,485	-	15	0,7	0,6	0,4	BLD15	SuperMarket	1	4.181	1.995	0	0	0,2%	0,0%	0,0%
	Urban Area Characteristic Length	500	m	16	0,8	0,7	0,4	BLD16	Warehouse	1	4.835	72.125	0	0	9,0%	0,0%	0,0%
	Max Dx	125	m	17	0,9	0,7	0,4	Building Climate Zone Reference			3A	Atlanta					
	Road Albedo	0,15	-	18	0,9	0,7	0,4				Total Floor Area:			805.385	1,0	0,0	0,0
	Pavement Thickness	0,5	m	19	0,8	0,7	0,4				Estimated Floor Area			666.418			
	Sensible Anthropogenic Heat (Peak)	20	W/m ²	20	0,8	0,5	0,4										
	Latent Anthropogenic Heat (Peak)	2	W/m ²	21	0,7	0,4	0,3										
Vegetation Parameters	Urban Area Veg Coverage	0,032	-	22	0,3	0,3	0,3										
	Urban Area Tree Coverage	0,057	-	23	0,2	0,2	0,2										
	Veg Start Month	10	-	24	0,2	0,2	0,2										
	Veg End Month	4	-	Run UWG													
	Vegetation Albedo	0,25	-														
	Latent Fraction of Grass	0,5	-														
Latent Fraction of Tree	0,5	-															
Rural Road Vegetation Coverage	1	-															

Simulation Parameters		Value	Unit	File Locations			
Simulation Start Month		1	-	Rural Weather File (EPW)	Path	C:\Sim\UWG4.1\data\USA_MA_Boston-Logan.725090_TMY2.epw	
Simulation Start Day		1	-	Input Definition File	Path	c:\Sim\UWG4.1\data\RunUWG.xslm	
Simulation Duration		360	Days	Urban EPW Output File	Path	c:\Sim\UWG4.1\output\BostonUWG.epw	
Simulation Time Step		300	s	UWG Program	File	C:\Program Files\UWGv4.1\application\UWGv4.exe	
Weather Time Step		3600	s	Generate .mat file	No	Yes/No	
HVAC autsize (1 = unconstrained)		0	1 or 0	Generate EPW file	Yes	Yes/No	
Occupant Sensible Heat Rate		100	W/person	Generate .xlsx file	Yes	Yes/No	
Latent Fraction of Occupant		0,3	-				
Occupant Sensible Heat Rate		0,2	-				
Radiant Fraction of Equip		0,5	-				
Radiant Fraction of Light		0,7	-				

Urban Weather Generator v4.1

Figura 11: Planilla de datos donde se muestran los parámetros del UWG para la zona 1. Se detallan los parámetros microclimáticos, urbanos y de vegetación. Se detalla el comportamiento horario del flujo del tránsito de la zona de estudio. El periodo de medición analizado corresponde al mes de diciembre. Se observa en la parte superior derecha las tipologías de las edificaciones relevadas de la zona 1 de estudio.

Finalmente, en la **Tabla 2** se indican las 3 zonas con los valores de sus diferentes parámetros, determinados a partir del modelado con la metodología explicada anteriormente.

UWG PARAMETERS		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	Unidad
CARACTERÍSTICAS URBANAS	Average Building Height	12,3	5,12	3,36	m
	Fraction of waste heat into canyon	1	1	1	-
	Building Density	0,661	0,36	0,49	-
	Vertical to Horizontal Ratio	1,485	0,47	0,66	-
	Urban Area Characteristic Length	1000	1000	1000	m
	Max Dx	137,5	137,5	250	m
	Road Albedo	0,15	0,15	0,1	-
	Pavement Thickness	0,5	0,5	0,5	m
	Sensible Anthropogenic Heat (Peak)	20	20	20	W/m2
	Latent Anthropogenic Heat (Peak)	2	2	2	W/m2
PARÁMETROS DE VEGETACIÓN	Urban Area Veg Coverage	0,039	0,13	0,14	-
	Urban Area Tree Coverage	0,065	0,36	0,209	-
	Veg Start Month	10	10	10	-
	Veg End Month	4	4	4	-
	Vegetation Albedo	0,25	0,25	0,25	-

	Latent Fraction of Grass	0,5	0,5	0,4	-
	Latent Fraction of Tree	0,5	0,5	0,6	-
	Rural Road Vegetation Coverage	1	1	1	-
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN	Simulation Start Month	1	1	1	-
	Simulation Start Day	1	1	1	-
	Simulation Duration	360	360	360	-
	Simulation Time Step	300	300	300	-

Tabla 2. Valores de parámetros principales para cada zona.

4 Determinación de escenarios con vegetación máxima para cada zona

Se establece para cada zona un escenario teórico en el cual se aumenta la vegetación a un valor máximo para el análisis de la influencia en la mitigación del efecto isla de calor urbana. La **Tabla 3** indica la vegetación para cada zona original y para el escenario teórico.

PARÁMETROS UWG	ZONA 1	ESCENARIO 1	ZONA 2	ESCENARIO 2	ZONA 3	ESCENARIO 3
Urban Area Veg Coverage	0,039	0,339	0,132	0,339	0,144	0,339
Urban Area Tree Coverage	0,065	0,339	0,361	0,339	0,209	0,339

Tabla 3. Valores de vegetación en cada zona y escenario de vegetación máxima correspondiente

5 Análisis de resultados

En la **Figura 12** se presentan las temperaturas medias mensuales para el mes de diciembre (ya que allí se obtuvo la mayor variación térmica) para el caso de estudio de la zona 1 y su escenario 1. Se observa que la disminución de la temperatura alcanza 0,1°C.

En la **Figura 13** se presentan las temperaturas medias mensuales para el mes de diciembre de la zona 2 y el escenario 2, se puede ver que hay una disminución de la temperatura con un pico que llega a los 0,4°C entre ambos casos. Lo cual, si bien es mayor que lo analizado en el estudio de la Zona 1, aún se encuentra muy lejos de la temperatura rural de la ciudad de Rosario.

En la **Figura 14** se presentan las temperaturas medias mensuales del mes de diciembre de la zona 3 y el escenario 3, registrándose entre ambas una diferencia de temperatura máxima del orden de 1°C siendo la mayor diferencia obtenida en las simulaciones.

De éste estudio comparativo entre las 3 zonas de estudio y sus escenarios, podemos observar que la temperatura del aire disminuyó en mayor medida en la zona 3, la cual cuenta con características edilicias de menor cuantía en relación a las otras zonas de estudio.

Se observa que el modelo desarrollado en UWG no muestra una gran sensibilidad para predecir las disminuciones de temperatura de aire en los escenarios evaluados en el presente trabajo.

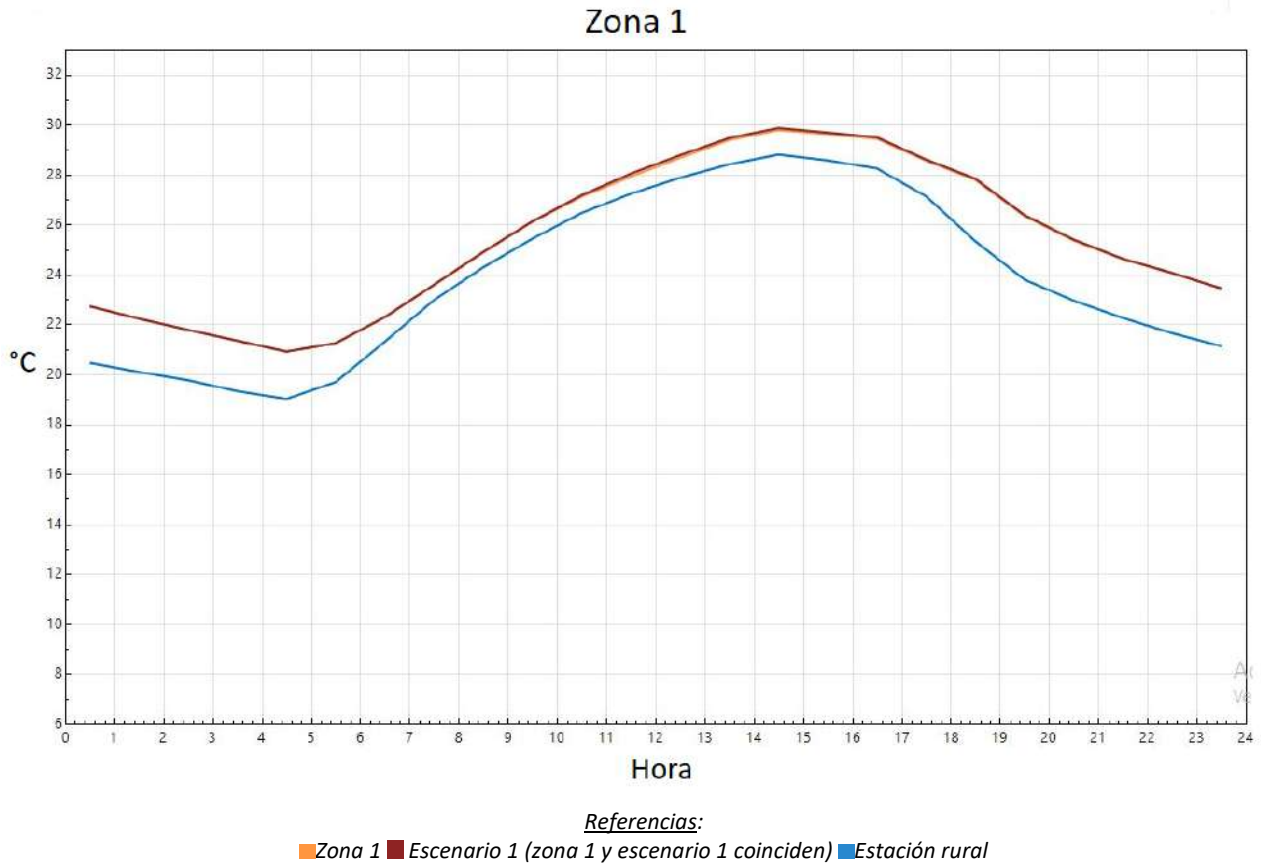


Figura 12: Diferencia de temperatura entre la zona 1 y el escenario 1 con el máximo de cobertura vegetal analizado para el mes de diciembre. Se destaca que el aporte de vegetación no contribuye a disminuir la temperatura atmosférica.

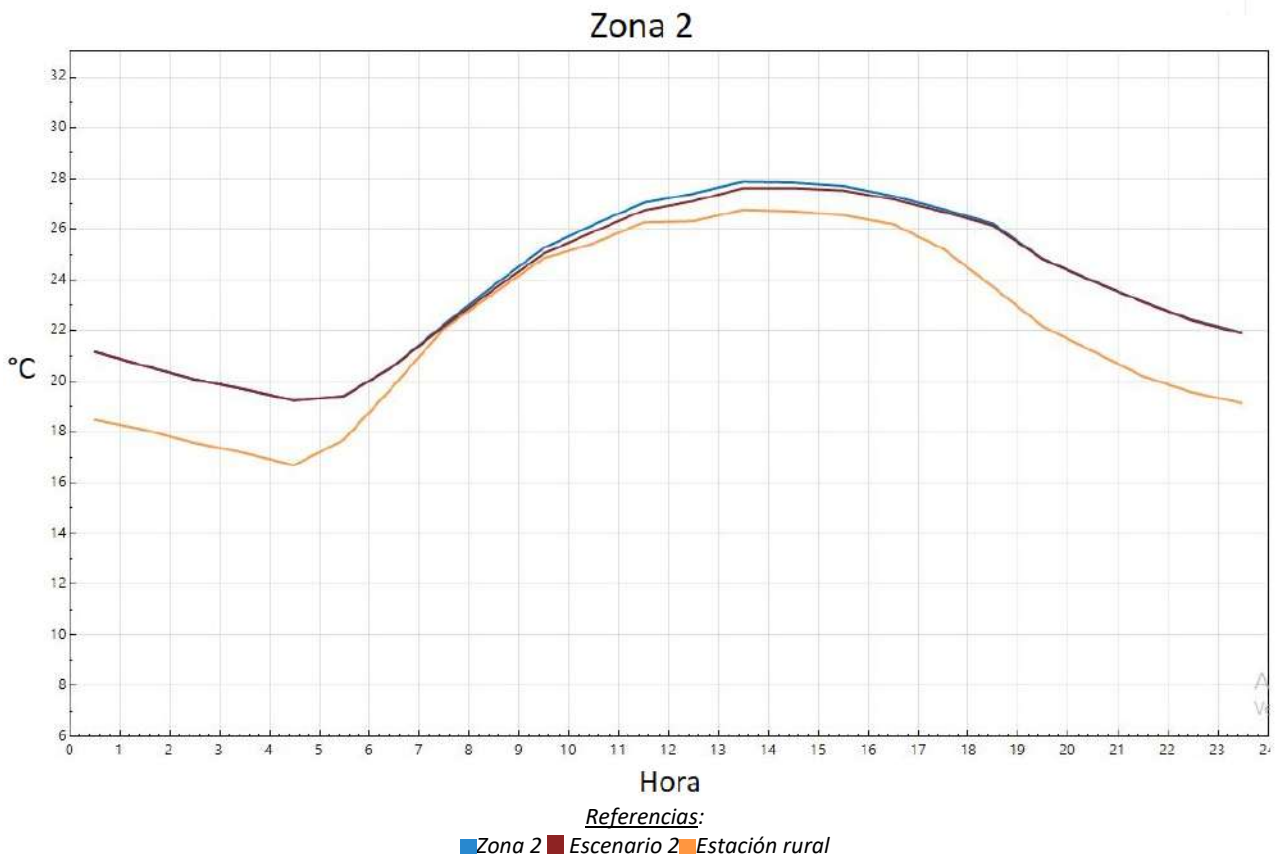


Figura 13: Temperaturas atmosféricas media mensual para el mes de diciembre en la zona 2, el escenario 2 con la máxima vegetación posible y la temperatura atmosférica de la estación rural de referencia.

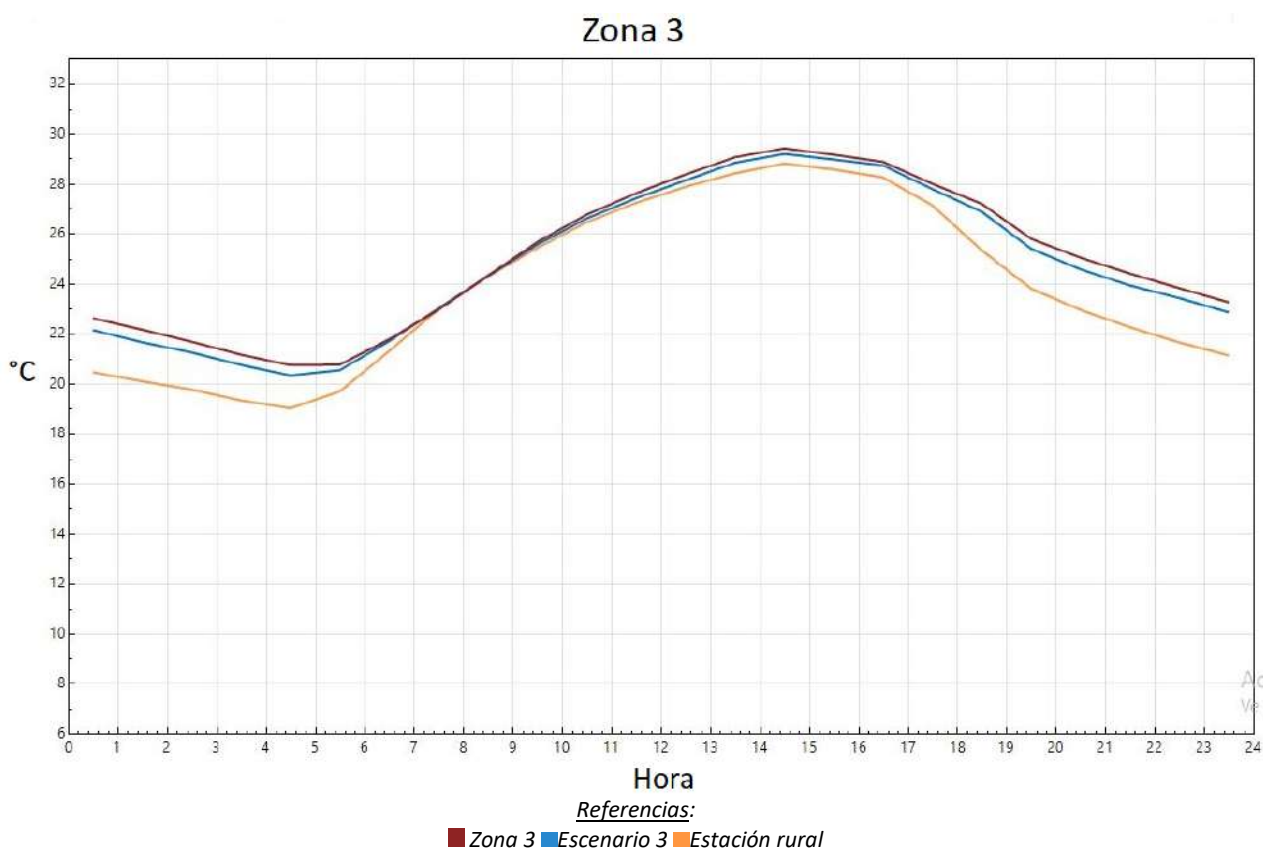


Figura 14: Temperaturas atmosféricas media mensual para el mes de diciembre en la zona 3, el escenario 3 con la máxima vegetación posible y la temperatura atmosférica de la estación rural de referencia.

Discusión y Conclusiones

Se puede inferir que debido a los resultados de las simulaciones realizadas las 3 zonas de estudio y sus escenarios pertinentes, en relación a la aplicación del aumento de vegetación, no generan gran sensibilidad en el programa UWG, ya que no se perciben grandes deltas de temperaturas.

La gran inercia térmica, que el software contempla en relación a los otros parámetros climáticos, no permite que el aumento de vegetación contribuya a la disminución de la temperatura.

Queda para futuras investigaciones averiguar la influencia de las características urbanas como el albedo y el espesor del pavimento, la sensibilidad de la mejora de la envolvente y de la eficiencia energética de los edificios, y la sensibilidad de las mismas en el software UWG.

En dichas investigaciones sería deseable trabajar de manera conjunta con otros modelos micro climáticos urbanos de simulación que resulten más sensibles a la modificación del parámetro de la vegetación considerando el efecto de las sombras que los árboles proyectan sobre las superficies urbanas.

Referencias

- Ali- Touder, F., Mayer H. (2006). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81, 742-754.
- ASHRAE. (2015). Heating, Ventilating, and Air-Conditioning APPLICATIONS. 1340. (N. A. 1791 Tullie Circle, Ed.)
- Bueno, B., Norford L., Hidalgo J., Pigeon G. (2012). The urban weather generator. *Journal of Building Performance Simulation*, 6, 269-281. doi:<https://doi.org/10.1080/19401493.2012.718797>
- Bueno, B., Nakano, A., Norford L. (2015). Urban weather generator: a method to predict neighborhood-specific urban temperatures for use in building energy simulations . ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, Toulouse France.
- Cheung, P., Jim, C. (2019). Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range. *Building and Environment*, 151, 303-317. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.057>
- Giridharan, R., S.S.Y. L., Ganesan S., Givoni B. (2008). Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. *Building and Environment*, 43, 1583-1595.
- Li, X., Zhou, W. (2019). Optimizing urban greenspace spatial pattern to mitigate urban heat island effects: Extending understanding from local to the city scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, 255- 263. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.008>
- Mao, J., Yang J.H., Afshari A., Norford L. (2017). Global sensitivity analysis of an urban microclimate system under uncertainty: Design and case study. *Building and Environment*, 124, 153-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.011>
- Municipalidad de Rosario. (2019). Municipalidad de Rosario. Obtenido de Indicadores demográficos: <https://www.rosario.gob.ar/web/ciudad/caracteristicas/indicadores-demograficos>
- Nakano, A., Bueno, B., Norford, L., Reinhart C.F. (2015). Urban Weather Generator - a Novel Workflow for Integrating Urban Heat Island Effect within Urban Design Process. 14th Conference of International Building Performance Simulation Association , Hyderabad, India.
- Nazarian, N., Acero J.A., Norford L. (2019). Outdoor thermal comfort autonomy: Performance metrics for climate-conscious urban design. *Building and Environment*, 155, 145-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.028>
- Negin Nazarian, J. A. (2019). Outdoor thermal comfort autonomy: Performance metrics for climate conscious urban design. *Building and Environment*, 155, 145-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.028>
- Nikolopoulou, M., Lykoudis, S. (2005). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41, 1455-1470. doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.031
- Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates* 2° Edition. (Tayler & Francis e-Library, Ed.). Routledge, London.
- Oke, T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139016476.
- Park, M., Hagishima A., Tanimoto J., Narita K. (2012). Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field measurement a scale model site. *Building and Environment*, 56, 38-46.
- Salvati, A., Coch, H., Cecere, C. (2015). Urban Morphology and Energy performance: The direct and indirect contribution in mediterranean climate. 31th International Conference "PLEA 2015 -Architecture in (R)evolution, Bologna, Italy

Salvati, A., Coch, H., Cecere, C. (2016). Urban heat island prediction in the mediterranean context: An evaluation of the urban weather generator model. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 11 (32), 135- 156. doi:10.5821/ace.11.32.4836

Salvati, A., Monti, P., Coch, H., Cecere, C.(2019). Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context. *Energy and Buildings*, 185, 162- 179. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.024

Shooshtarian, S. (2019). Theoretical dimension of outdoor thermal comfort research. *Sustainable Cities and Society* 47, 14. doi:https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101495

Sugawara, H., Shimizu S., Hagiwara S., Narita K., Mikami T. (2008). How much cool air does an urban green park produce? *Geographical reports of Tokyo Metropolitan University*, 43, 83-89.

Vega M., Cespedes L., Lombardo F., Re G., Garcia N., Busnelli A., Del Fedele F., Lopez M., Pomar J., Salvati A., Piacentini R. (2019). Measurements and Modelization of the Rosario City Heat Island, Argentina - Preliminary Results. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(092068), 10. doi:10.1088/1757-899X/471/9/092088

Yue W., Liu X., Zhou Y., (2019). Impacts of urban configuration on urban heat island: An empirical study in China mega-cities. *Science of The Total Environment*, 671, 103-1046. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.421