

COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE MOSAICOS URBANOS REPRESENTATIVOS DE LA CIUDAD DE LA PLATA (BS AS. ARGENTINA) EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS EXTERNAS

Graciela Viegas (1); Pedro Chévez (2); Gustavo San Juan (3); Carlos Discoli (4)

(1) PhD, Investigadora Asistente CONICET, gachiviegas@yahoo.com.ar

(2) Arquitecto, Becario Interno Doctoral CONICET, chevezpedro@gmail.com

(3) PhD, Investigador Independiente. Director del IIPAC, gustavosanjuan60@hotmail.com

(4) PhD, Investigador Principal CONICET, discoli@rocketmail.com

Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) - Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires. Tel. (54) 0221-4236587/90 int. 250. <http://iipacfau.wixsite.com/unlp>

RESUMEN

Los modelos de cálculo de carga térmica simplificados para climatización de edificios estiman la demanda en función de un coeficiente global de pérdidas (G) y de los grados día (GD) de refrigeración o calefacción. Los GD son calculados a partir de temperaturas promedio de las ciudades, publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional. Sin embargo distintas investigaciones han registrado que la ciudad afecta al clima urbano con variaciones térmicas significativas debido a sus condiciones morfológicas y materiales (artificiales y naturales). Este trabajo analiza las situaciones térmicas externas en distintas zonas representativas de la ciudad de La Plata, capital de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, para determinar el grado en que modifican las condiciones de demanda de energía teórica urbana. Los resultados muestran una sobrestimación de la demanda de energía en invierno y una subestimación en verano en varios mosaicos urbanos, respecto del cálculo teórico, obteniéndose diferentes necesidades térmicas en la ciudad analizada. Asimismo, se encontraron distribuciones térmicas diferenciadas entre invierno y verano.

Palavras-chave: condiciones térmicas urbanas, grados día calefacción y refrigeración, comportamiento energético.

ABSTRACT

The simplified Heating, Ventilating and Air Conditioning models for buildings estimate the demand based on a global loss coefficient (G) and the heating and cooling degree days (DD). The DD are calculated from average temperatures of the cities, published by the National Weather Service. However different researches have recorded that the city affects the urban climate with significant thermal variations due to its morphological and material conditions (artificial and natural). This paper analyzes the external thermal situations in different representative areas of the city of La Plata, capital of Buenos Aires Province, Argentina, to determine the degree to which the conditions of urban theoretical energy demand change. The results show an overestimation of the energy demand in winter and an underestimation in summer in several urban mosaics, with respect to the theoretical calculation, obtaining different thermal needs in the analyzed city. Also, different thermal distributions were found between winter and summer.

Keywords: Urban thermal conditions, heating and cooling degree days, energy performance.

1. INTRODUCCIÓN

Los edificios consumen casi el 50% de la energía del mundo. Y gran parte de esa energía es demandada durante la vida útil del edificio. En el caso de Argentina, el sector residencial consume aproximadamente el 27% de la energía total producida en el país lo que lleva a situaciones de competencia entre sectores, y en particular con el sector industrial (22,5% del consumo total) que la requiere con fines productivos (BALANCES ENERGÉTICOS, 2017).

Con el objetivo de reducir la demanda de energía del sector, diversas estrategias basadas en la aplicación de medidas de eficiencia energética e incorporación de energías renovables en la ciudad, han sido estudiadas. En este sentido, una de las claves en lo referido a reducir la demanda del sector residencial es considerar estrategias que respondan a un criterio de intervención masiva sobre la ciudad y no de soluciones parciales sobre edificios aislados. Por lo tanto, resulta necesario desarrollar modelos simplificados que permitan estimar situaciones de base de demanda de energía y en función de ello estimar posibles ahorros en función de las características edilicias de los sectores. En general los modelos de estimación se basan en el cálculo de demanda y ahorro en edificios individuales. Pero muy pocos abordan la escala urbana, la cual se presenta como un área de vacancia para las investigaciones.

A nivel internacional se han desarrollado algunos modelos de este tipo que tienen por objetivo analizar la performance energética de sectores urbanos y ciudades, y permiten evaluar la aplicación de estrategias de intervención para mejorar las condiciones actuales, reducir el consumo de energía y el impacto ambiental. Entre ellos podemos mencionar: energy and environmental prediction model (EEP); LT model; Ursos; SunTool; Climate Lite; GDR energy model; urban modeling interface; Urban Energy Building Index (UEBI); entre otros (RODRIGUEZ ALVAREZ J., 2016). Estos modelos varían en función de su región de desarrollo y de los parámetros de entrada, pero todos buscan simplificar las condiciones de los edificios, sectores urbanos y ciudades para estimar la demanda de energía. Lo que se ha observado es que ninguno de estos considera las diferentes condiciones térmicas externas de los sectores urbanos de análisis.

En Argentina, estimaciones sobre demanda de energía en edificios individuales pueden encontrarse por ejemplo en las Normas Iram 11.605 y 11.659, en las cuales a modo general, se desarrollan modelos de cálculo estacionario basados en la demanda de energía a partir de un Coeficiente Volumétrico de Pérdidas (G). A partir de este coeficiente se calcula la demanda de energía para climatización considerando los grados día de invierno y verano, calculados a partir de la recolección de datos meteorológicos que publica el Servicio Meteorológico Nacional en cada ciudad donde cuenta con estaciones de medición.

En particular en el caso de estudio, el grupo de investigación de este trabajo ha desarrollado distintos modelos en función de proyectos de investigación asociados (DISCOLI, 2012). Los últimos avances alcanzaron el desarrollo de un modelo, que aborda la escala urbana, basado en el análisis de la potencialidad energética de sectores urbanos denominados Mosaicos Urbanos. Se trabajó con distintos sectores donde se han aplicado estimaciones de cálculo estacionarias y dinámicas, integrando sus resultados a la ciudad.

Hasta el momento y en función de los antecedentes estudiados, la definición conceptual de los Mosaicos Urbanos profundizó sobre los aspectos morfológicos del entorno edilicio para su clasificación y consideró como sus componentes a las unidades edilicias (el principal), el vacío urbano y la calle (VIEGAS y SAN JUAN, 2012). En base a estas variables se determinaron patrones de aptitud energético-ambiental.

Como avance metodológico, surgió la necesidad de discriminar con mayor grado de especificidad estos patrones, incorporando nuevas variables consideradas por otras investigaciones como significativas en el comportamiento energético y en la determinación del potencial de la ciudad (CORREA, DE ROSA y LESINO, 2008). Entre ellas podemos mencionar las variaciones en el clima urbano, los comportamientos del usuario, las condiciones del área vegetada, entre otras.

Distintos investigadores han notado y analizado las diferencias térmicas que se presentan en distintas áreas de las ciudades. Particularmente en la ciudad de La Plata se trabajó en un Atlas urbano ambiental el cual permitió analizar el fenómeno de isla de calor urbana, a partir de medir temperaturas en un día de verano en los corredores urbanos característicos que conectan la ciudad con la periferia noroeste (avenida 7) y suroeste (avenida 44). Se midió la temperatura del aire y del pavimento. Si bien se registraron diferencias térmicas en los sectores, no se observaron niveles térmicos que excedieran por tiempo prolongado los de referencia. Se concluyó que la ciudad no presenta perfiles térmicos relacionados con el fenómeno de "isla de calor" (DISCOLI, 2009), aunque sí se verificó la existencia de diferencias térmicas significativas con un perfil diferente al mencionado. Por otro lado, en la ciudad de Mendoza, Correa, De Rosa y Lesino (2008), notan que el efecto de la isla de calor urbana modifica los grados día de calefacción y refrigeración en distintos puntos de la ciudad detectando casos donde las estimaciones de grados día de calefacción estaban sobrestimadas en un 50%, mientras que las de refrigeración estaban subestimadas en un 9%. Asimismo se observó en otras investigaciones en la provincia de Buenos Aires, que en el micro centro de la ciudad de

Bahía Blanca, en el verano se produce lo que se conoce como “isla fría urbana” ya que hay menores grados día de refrigeración que en el resto (TORRERO et. al., 2007).

En función de los antecedentes analizados se propone avanzar en la definición técnico-conceptual de la metodología de “Mosaicos Urbanos” (MU), ya mencionada, integrando una nueva variable y su comportamiento. En particular en este trabajo se avanza sobre las condiciones térmicas externas de las áreas de la ciudad y su relación con el uso de la energía urbana.

El universo de análisis corresponde a ciudades de escala intermedia y específicamente, áreas urbanas representativas del Gran La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires, desagregado en áreas homogéneas constituidas por mosaicos urbanos, perteneciente a la región bioclimática IIIb.

2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS MOSAICOS URBANOS

La metodología se desarrolla en las siguientes etapas con el objetivo de determinar finalmente el potencial energético de los distintos mosaicos: i. Análisis térmico de los Mosaicos Urbanos; ii. Cálculo de grados día mensuales y comparación con los valores teóricos calculados con datos oficiales; iii. Estimación de la demanda de energía teórica en función del comportamiento térmico cada mosaico.

A continuación se desarrollan los métodos e instrumentos de cada una de las etapas:

(i) El análisis térmico requirió de una auditoria térmica energética de once mosaicos urbanos de la ciudad de La Plata, determinados como representativos de distintas condiciones urbanas de la ciudad. Para ello se seleccionó una vivienda de cada Mosaico Urbano, en la cual se instalaron micro adquiredores de datos tipo Hobo en el entorno externo de la vivienda, resguardados de la radiación solar. Además se constataron los registros climáticos de la estación meteorológica Observatorio (O.A.L.P) y los registros históricos de la estación meteorológica Aeropuerto, para luego ser contrastados con las mediciones experimentales. Se registraron las condiciones de invierno y verano del año 2012.

(ii) A partir de los datos climáticos, se calcularon los grados día mensuales. Estos pueden calcularse por un período específico (mes, año) a partir de datos climáticos oficiales. Para el cálculo de los grados día en función de datos climáticos medios se utilizan las ecuaciones 1 y 2 de acuerdo a (CZAJKOWSKI, 2007):

$$GD_{cal} = (T_{base} - (T_{max} + T_{min}) / 2) \times n^{\circ} \text{ días} \times 1 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$GD_{ref} = (T_{max \text{ med}} - T_{base}) / 2 \times n^{\circ} \text{ días} \times 1 \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

T_{base} [°C]; temperatura de base (18°C en invierno; 23°C en verano);

T_{max} [°C]; temperatura máxima absoluta;

T_{min} [°C]; temperatura mínima absoluta;

$T_{max \text{ med}}$ [°C]: temperatura máxima media

Para el cálculo detallado de GD a partir de las mediciones realizadas en los mosaicos se requirieron mediciones diarias de las temperaturas máxima y mínima absoluta del aire exterior (T_{max} y T_{min}) y una “temperatura base” nominada por el usuario como una estimación de la temperatura del aire exterior en el que no se requiere climatización artificial (DEGREE DAYS DIRECT LD., 2007; CZAJKOWSKI, 2007). Las condicionantes de cálculo se ven en tabla 1.

Tabla 1- Cálculo de los grados día de calefacción diarios. Extraídas de: Degree Days Direct Ld., 2007.

Grados días de calefacción		Grados día de enfriamiento	
Condición	Fórmula usada	Condición	Fórmula usada
$T_{min} > T_{base}$	$D_h = 0$	$T_{max} < T_{base}$	$D_c = 0$
$(T_{max} + T_{min}) / 2 > T_{base}$	$D_h = (T_{base} - T_{min}) / 4$	$(T_{max} + T_{min}) / 2 < T_{base}$	$D_c = (T_{max} - T_{base}) / 4$
$T_{max} \geq T_{base}$	$D_h = ((T_{base} - T_{min}) / 2) - ((T_{max} - T_{base}) / 4)$	$T_{min} \leq T_{base}$	$D_c = ((T_{max} - T_{base}) / 2) - ((T_{base} - T_{min}) / 4)$
$T_{max} < T_{base}$	$D_h = T_{base} - ((T_{max} + T_{min}) / 2)$	$T_{min} > T_{base}$	$D_c = (T_{max} + T_{min}) / 2 - T_{base}$

Finalmente, a los efectos de interpretar los resultados y hacer un análisis más detallado, se realiza un agrupamiento de los distintos puntos de medición en tres grupos según su afinidad en el comportamiento térmico, utilizando la técnica de clustering de k-medias (PÉREZ LÓPEZ, 2004; CHEVEZ ET. AL., 2017). Para realizar dicho agrupamiento se adopta una serie de 32 días (16 de verano y 16 de invierno), las cuales presentan para cada día la temperatura mínima y máxima. Por ende, cada punto de medición cuenta con un vector asociado de 64 valores, los cuales se agrupan entre sí en función de su similaridad.

(iii) Se realiza para cada mosaico urbano un cálculo teórico basado en la morfología del sector y se aplica la información térmica relevada en las auditorías para conocer su potencialidad energética real. Para ello se calcula un coeficiente volumétrico de pérdidas por mosaico (GMu) en base a coeficientes de transmitancia térmica (K) promedio del sector. Y a partir de éste y de los grados días de calefacción y refrigeración promedio mensual se calcula la demanda de energía en base a 18°C para invierno y 23°C para verano, a partir de la siguiente ecuación (3):

$$Q(kWh) = (T \times GMu \times GDmes \times V) \div 1000$$

Ecuación 3

Dónde:

T: tiempo de calefacción en horas por día (24);

GMu: Coeficiente volumétrico de pérdidas de cada MU;

GDmes: grados día mensuales;

V: Volumen construido en el MU.

En el caso del verano, el cálculo de la carga térmica de refrigeración considera distintos aspectos como son la carga por: conducción, ventilación, radiación solar y por fuentes internas. A los efectos del cálculo y uso de los grados día de refrigeración, se considerará un cálculo análogo al de la carga térmica de invierno para lograr estimar los ahorros potenciales de energía.

Para desarrollar estos cálculos es necesario conocer las características constructivas de los edificios que se encuentran en cada MU. Como no se cuenta con un relevamiento de la envolvente de cada vivienda, se utilizan los estándares estipulados por el censo nacional de población, hogares y viviendas. En el mismo se describen la calidad de la envolvente edilicia en tres escalas, alta, media y baja. Es por eso que se decide asignar valores promedio de envolvente del área de estudio para contrastar las condiciones de compacidad de los distintos sectores. Se decide considerar que el 50% de las viviendas tiene una baja calidad de edificación y el resto buena calidad. En consecuencia, se adoptan los valores promedios de transmitancia térmica siguientes: **i. Techos:** 50% Cubierta asfáltica o membrana, baldosa o losa, pizarra o teja, chapa de metal, chapa de fibrocemento, o plástico y otros, con cielorraso-K =1,22 y 50% Cubierta asfáltica o membrana, baldosa o losa, pizarra o teja, y otros, sin cielorraso-K = 3,2- **K medio= 2,21 W/m² °C**; **ii. Pisos:** Cerámica/cemento o ladrillo fijo. **K medio= 1,57 W/m² °C**; **iii. Muros:** 50% Ladrillo, piedra, bloque u hormigón, adobe con revestimiento, madera-K =2,01 y 50% Ladrillo, piedra, bloque u hormigón, adobe sin revestimiento, madera o chapa de metal, fibrocemento y otros- **K medio=2,67. K medio= 2 W/m² °C**. Con respecto a las superficies vidriadas, son calculadas a partir de un relevamiento detallado de las tipologías residenciales frecuentes del caso de estudio. Las tipologías presentaron las siguientes características: área promedio en planta 92 m² y área promedio de ventanas 14,2 m², lo que da una relación entre la superficie de ventanas y la superficie en planta del 15%. La mayoría de estas tipologías poseen ventanas de vidrio simple, con una transmitancia térmica de 5,8 W/m² ° C (IAS-FIPE, 1987). Se calcula entonces un valor de GMu para cada Mosaico y con él la demanda de energía para un mes.

3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Análisis de temperaturas externas de los Mosaicos Urbanos

La figura 1 muestra el mapa con la localización de los Mosaicos Urbanos y la volumetría de los mismos. Éstos fueron distribuidos en las distintas zonas de la ciudad, intentando abarcar las diferentes conformaciones morfológicas y urbanas más representativas, tanto del área del Casco Fundacional de la Ciudad de La Plata, como de su periferia. Asimismo se muestran los resultados obtenidos de las temperaturas registradas en junio/julio de 2012 (invierno) y en el mes de enero de 2012 (verano).

En la figura 1 se puede observar que hay amplias diferencias en los distintos sectores urbanos. Las temperaturas medias de invierno oscilan entre 9,3°C y 14,3°C con lo cual se ven diferencias entre estos dos casos extremos de 5°C. La temperatura promedio más baja corresponde a la periferia oeste del Gran La Plata, y la más elevada a la zona central inserta en el Casco Urbano Fundacional. Más allá de estos promedios, se pueden observar amplias diferencias en las temperaturas mínimas absolutas, ya que áreas de la periferia norte, sur y oeste registran valores muy bajos cercanos a -1,5 °C, en relación a sectores centrales con 8,2°C de temperatura mínima. En relación a estos datos, los mosaicos que presentan muy bajas temperaturas mínimas, también registran temperaturas máximas mayores, con lo cual son sectores con mayor amplitud térmica que el resto (ver 7. Los Hornos, 10. Villa Elisa, 11. Villa Elvira).

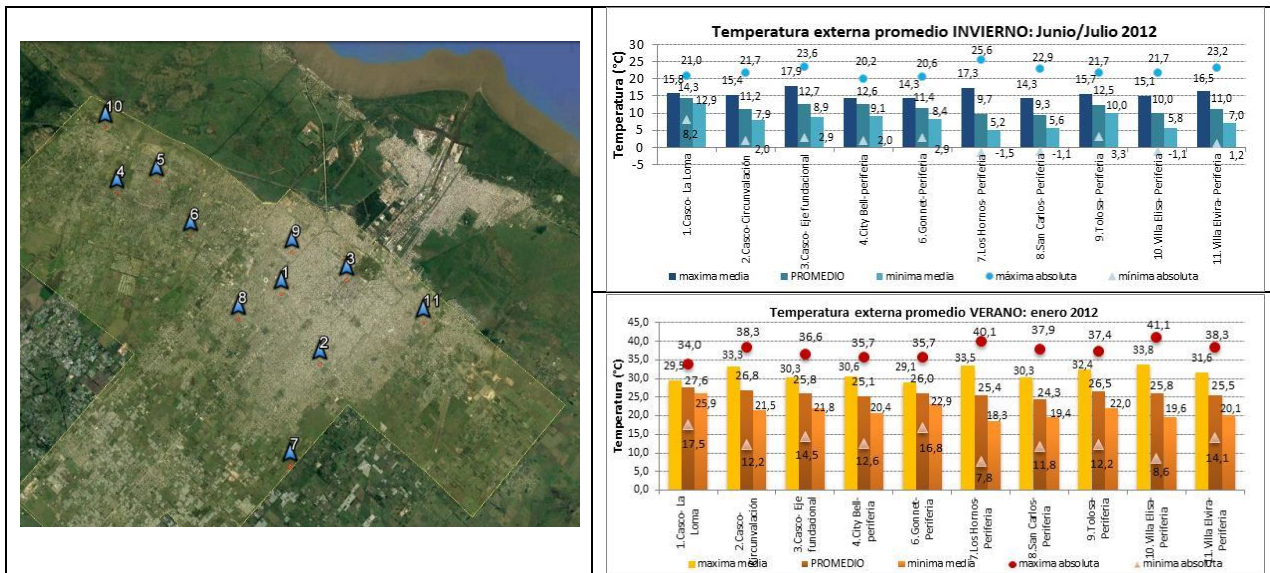


Figura 1- Localización de los 11 mosaicos urbanos objeto de estudio (Ver nomenclatura en los gráficos). Registros de temperatura obtenidos en cada mosaico urbano: temperaturas promedio, máximas medias y mínimas medias (gráfico de barras), máximas absolutas y mínimas absolutas (puntos) de los meses de junio/julio (promedio) y enero de 2012.

Asimismo se observan variaciones en las temperaturas medias en verano que oscilan entre 24,3 y 27,6 °C (una diferencia de más de 3°C), el valor mínimo registrado en la periferia y el máximo en el casco urbano de la ciudad. El análisis de las temperaturas mínimas y máximas medias muestra que hay sectores con grandes amplitudes térmicas que responden a bajas temperaturas nocturnas y altas temperaturas diurnas. Estos sectores se corresponden con Los Hornos, Villa Elisa y San Carlos que son áreas de los límites de la ciudad, cercanas a áreas de campo, o más expuestas. En cambio en la zona centro se observan temperaturas muy estables entre máximas y mínimas medias, lo cual puede explicarse por la mayor masa edilicia que presenta, ocasionando un efecto de amortiguamiento térmico y acumulación de calor. Estas características generan curvas donde las temperaturas mínimas suelen ser elevadas, mientras que las máximas atenúan sus picos. Finalmente se observa cierta correlación en los dos períodos analizados ya que existe gran amplitud térmica en áreas cercanas al ámbito rural y estabilidad térmica en zonas centrales más consolidadas.

En la tabla 2 se muestran los resultados de las temperaturas medias ordenadas de manera ascendente para junio, junto con las temperaturas medias de enero, las características morfológicas de cada sector, tales como la superficie del área seleccionada, la superficie ocupada, el Factor de Ocupación del Suelo (FOS), la superficie construida, la superficie utilizadas por el sector residencial y el Factor de Ocupación Total (FOT). Las superficies fueron obtenidas por relevamiento de cada mosaico urbano a partir de trabajo de campo y de relevamiento mediante imágenes de google earth.

Tabla 2- Relación de las temperaturas medias de 2012 y la conformación morfológica de los sectores urbanos ordenados de menor a mayor temperatura para junio. Aclaración: (*) Falla en los equipos de medición en verano.

Mosaico Urbano	T° prom. junio 2012	T° prom. enero 2012	Sup.de terreno (m2)	Sup. ocupada de suelo (m2)	Sup. construida total (m2)	Sup. construida residencial (m2)	FOT	FOS
San Carlos- Periferia (pto 8)	9,3	24,3	14.335	4.690	4.895	4.438	0,34	0,33
Los Hornos- Periferia (pto7)	9,7	25,4	7.937	1.324	8.587	6.943	1,08	0,17
Villa Elisa- Periferia (pto 10)	10,0	25,8	9.601	3.613	4.851	4.250	0,51	0,38
Villa Elvira- Periferia (pto 11)	11,0	25,5	9.815	4.337	8.664	7.514	0,88	0,44
Casco-Circunvalación (pto 2)	11,2	26,8	14.387	6.970	2.743	2.743	0,19	0,48
Gonnet-Periferia (pto 6)	11,4	26,0	8.433	1.835	5.317	4.332	0,63	0,22
Tolosa- Periferia (pto9)	12,5	26,4	13.537	7.113	2.420	2.103	0,18	0,53
City Bell-periferia (pto 4)	12,6	- (*)	10.920	1.895	1.601	1.601	0,15	0,17
City Bell-Centro (pto 5)	12,9	-(*)	9.927	3.489	3.335	7.514	0,34	0,35
Casco- La Loma (pto1)	14,3	27,6	14.690	6.630	8.997	8.373	0,61	0,45

Si bien no se observa una relación directa entre el factor de ocupación del suelo (FOS) o factor de ocupación total (FOT) y las temperaturas medias (se presupone que en invierno las áreas de menor temperatura deberían tener menores valores de FOS y FOT y en verano las temperaturas deberían ser mayores en áreas con mayor FOS y FOT). Lo que se puede verificar es que los sectores con menores

temperaturas en invierno y mayor temperatura en verano (San Carlos, Los Hornos, Villa Elvira, Villa Elisa) se localizan cercanos a áreas abiertas rurales (sector 7 y 8) o de bañados (10 y 11), y presentan menor densidad edilicia. Mientras que los de mayores temperaturas en invierno se localizan en zonas mediterráneas del área urbana (sectores 9, 4, 3, 5, 1) ya sea en el centro fundacional (Casco) o en nuevas centralidades (City Bell, Tolosa, Gonnet). Podemos decir entonces que los coeficientes de FOS y FOT por sí solos no explican las condiciones micro climáticas de los sectores urbanos, ya que la situación responde a una combinación de factores tales como la incidencia de los vientos, vegetación, tipos de superficies absorbentes, morfología, etc.

3.2. Cálculo de grados día mensuales en los mosaicos urbanos

La tabla 3 muestra los valores de los grados día (GD) calculados para la estación meteorológica Observatorio (O.A.L.P.) y Aeropuerto de La Plata (A.L.P.) a partir de las temperaturas medias del año 2012 y el cálculo para la estación Aeropuerto de La Plata a partir de la serie histórica.

Tabla 3- Grados día de calefacción y refrigeración de acuerdo a los datos registrados de temperatura media y media máxima para el año 2012 en el Observatorio Astronómico de La Plata, y secuencia de datos climáticos del SMN en la estación Aeropuerto La Plata.

Mes		Registros Estación O.A.L.P. (AÑO 2012) ¹			Registros estación meteorológica A.L.P. (año 2012) ²			Registros estación meteorológica A.L.P. (serie climática) ⁴		
Mes/Año	número de días	T med. °C	T max. Med. °C	GD	T med. °C	T max. med. °C	GD	T med. °C	T max. med. °C	GD
Enero	31	24,2	29,7	103	26,1	31,7	135	22,4	28,6	87
Febrero	28	23,6	30,4	104	25,1	29,4	90	21,9	28,2	73
Marzo	31	20,5	25,4	37	21,5	25,7	42	19,5	25,5	39
Abril	30	16,5	20,4	45	17,4	22,1	18	16	21,9	60
Mayo	31	15,3	15,7	84	16,1	20,1	59	13	18,4	155
Junio	30	10,4	14,3	228	11,1	16,5	207	9,8	14,7	246
Julio	31	7,9	13,6	313	8,5	13,6	295	9,2	14,4	273
Agosto	31	12,3	18,0	177	12,8	16,7	161	10,2	15,8	242
Septiembre	30	14,1	17,8	117	15	19,5	90	12,4	17,9	168
Octubre	31	16,9	20,9	34	17,8	21,7	6	14,7	20,3	102
Noviembre	30	20,8	25,2	33	21,4	26,7	56	18,2	23,9	14
Diciembre	31	23,2	29,8	105	23,7	29	93	20,9	27	62
GD cal				998			836			1246
GD ref				383			415			274

Se puede observar que se presentan grandes diferencias en la ciudad de La Plata entre las dos localizaciones analizadas. Para el caso del invierno el (O.A.L.P.) presentó mayor cantidad de GD de calefacción anual y menor cantidad de GD de refrigeración anual que la secuencia de datos climáticos oficiales (A.L.P.). Posiblemente los registros de la estación meteorológica O.A.L.P., frente a la A.L.P., esté influenciada por cuestiones propias de su entorno más protegido elevando la temperatura debido a la carga e inercia térmica que proporciona la ciudad y el bosque de árboles en el que se inserta, así como también puede haber sido un año en general más cálido. Sin embargo presentó un mes de julio más frío. Por lo tanto, se considera entonces para el caso de invierno del año 2012 (año utilizado para el análisis detallado de GD), una situación promedio de los meses de junio y julio de 270 GD; y para el caso de la estación A.L.P. 259 GD promedio, dando cuenta a pesar de la diferencia, que los registros de ese período fueron similares.

Para el caso del verano, se puede observar que los registros de la serie climática de Aeropuerto son mucho menores a los registrados en el año 2012 en el O.A.L.P. ya que los grados días de refrigeración fueron 274 y 383 respectivamente. Particularmente en el mes de enero (tomado como caso para realizar las mediciones urbanas), en el 2012 fueron 135 mientras que en la serie fueron 87. Como conclusión, se observa que el año 2012 fue un año más extremo, tanto en el verano como en el invierno. Esta consideración es importante a la hora de obtener conclusiones respecto de los registros experimentales realizados.

Para realizar un análisis detallado de los GD en los distintos mosaicos de La Plata, se aplica la fórmula enunciada en tabla 1. La figura 2 muestra los resultados obtenidos en todos los mosaicos urbanos de estudio.

En las condiciones del verano la situación cambia. Si bien existen diferencias entre los distintos puntos de la ciudad, las mismas no son tan pronunciadas como en el invierno. Se observan registros más bajos alrededor de los 100 grados días de refrigeración, y puntos más cálidos con registros máximos como el caso del centro de la ciudad con 146 grados día, lo que representa una diferencia de aproximadamente 50%. Si comparamos con los datos de la serie climática histórica que registra 87 grados día, podemos observar que siempre los registros experimentales dieron mayor cantidad, con lo cual se estaría subestimando su

incidencia en el confort térmico de cada sector urbano. Sin embargo, respecto del año 2012 en el Observatorio se aprecia que siendo un año más cálido a nivel general con 103 grados día de refrigeración en enero, los registros experimentales fueron mayores en tres puntos clave de la ciudad. Estos fueron: el centro urbano (1. Casco La Loma, 146 GDref), y las periferias lindantes con áreas agrícolas o descampadas como Los Hornos (131 GDref) y Villa Elisa (144 GDref). Con lo cual se puede concluir que los sectores periféricos y del centro urbano pueden ser tomados como casos clave para tener en cuenta sus condiciones térmicas externas diferenciadas y extremas, para ajustar el análisis energético teórico.

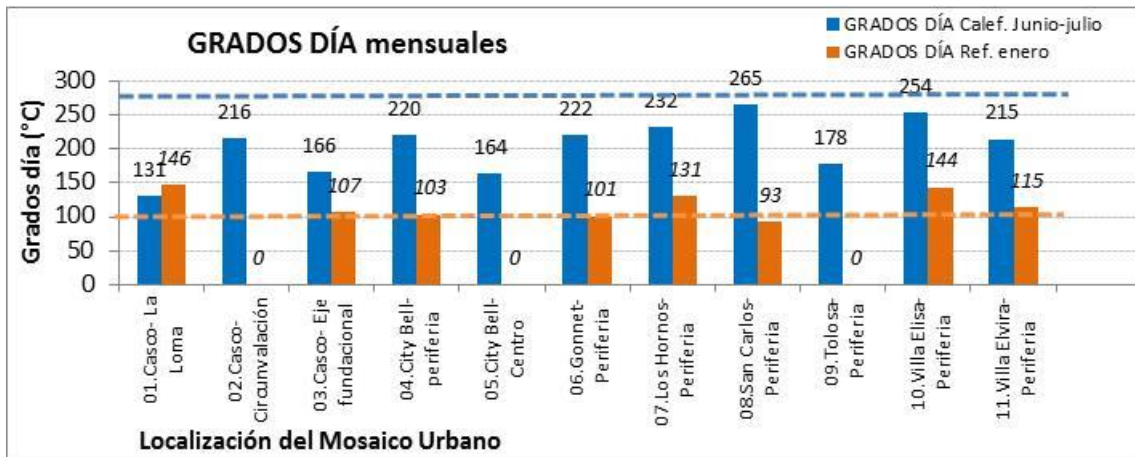


Figura 2- GD Reales. Invierno: se calculan 31 días, con T de base 18°C. Verano: se calculan 31 días, con T de base 23°C. Aclaración: algunas estaciones de medición fallaron en verano, con lo cual figura un “0” en la medición.

Los registros de GD mensuales se pueden explicar con el nivel de consolidación urbana (figura 3). Los menores requerimientos en GD de calefacción se detectaron en sectores de consolidación alta y media, los cuales son sectores con una densidad habitacional y poblacional elevada. Luego, los requerimientos intermedios de calefacción se encontraron en sectores de consolidación media donde la densidad de viviendas por hectárea comienza a reducirse, al igual que la densidad poblacional, lo cual incrementa los grados día al detectarse una menor proporción de espacios vacíos respecto de los ocupados (esto supone una menor carga e inercia térmica de los materiales). Finalmente, los mayores valores de grados día responden a sectores de consolidación media y baja reafirmando las hipótesis previas en cuanto a las menores densidades de vivienda y de personas. Son áreas dispersas y cubiertas con más vegetación (pisos absorbentes y arboledas). En el caso del verano, los valores más altos de GD de refrigeración se registraron en áreas de consolidación alta y baja, mientras que los valores intermedios se registraron en áreas de consolidación media. Esta particularidad conlleva a analizar, posteriormente, las curvas de temperatura de verano de los distintos sectores de la ciudad para intentar alcanzar un mayor grado de comprensión del fenómeno.

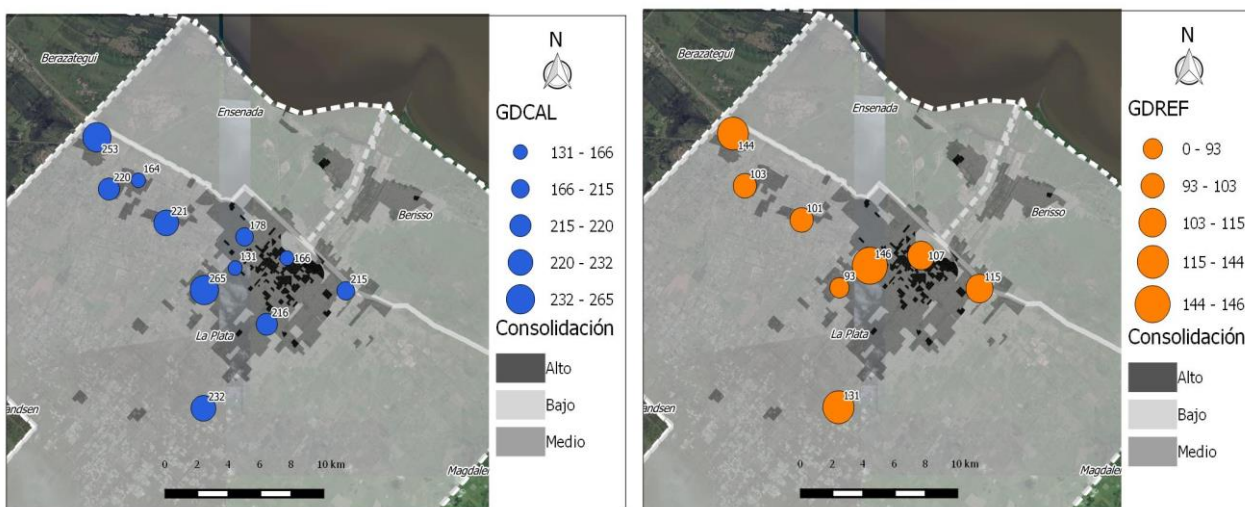


Figura 3- GD de invierno y nivel de consolidación urbana; GD de verano y nivel de consolidación urbana.

Finalmente con respecto a la relación entre los valores de GD de calefacción y refrigeración obtenidos en verano e invierno, se puede observar que sólo en el caso de una medición en el centro de la ciudad (punto 1.Casco La Loma) se registran valores altos de grados día tanto en invierno como en verano. En la búsqueda de encontrar una correlación entre lo registrado en verano e invierno, se muestra la figura 4 donde se zonifican a partir de una interpolación, los grados día calculados en las dos épocas del año. Lo que se observa es que la distribución en invierno parece corresponderse con un área central fundacional y los nuevos centros urbanos de alta consolidación, con menores grados días, y áreas periféricas dispersas con mayores valores de grados día. La distribución en verano parece ser más compleja, ya que se observan tres puntos más cálidos (mayores GDref) y entre ellos, espacios intersticiales más frescos con menores GD.

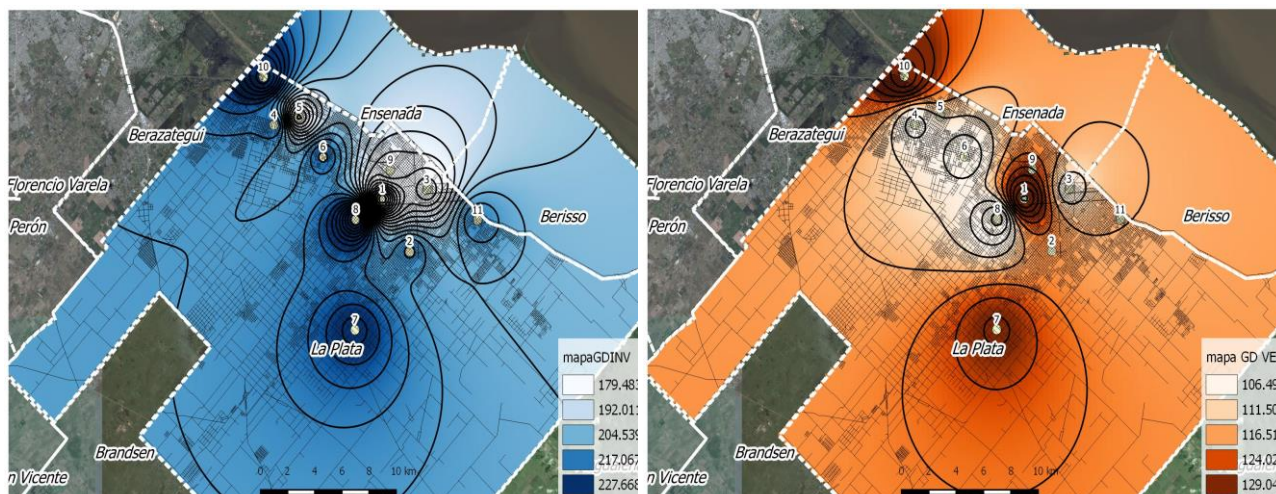


Figura 4- Zonificación de grados día de calefacción (izquierda) y refrigeración (derecha) de la ciudad de La Plata, Bs As, Argentina.

A partir del análisis surgido de la lectura de los mapas de la figura 4, se buscó agrupar entre sí a los distintos sectores urbanos en función de su comportamiento de invierno y de verano, generando tres clases. De esta manera se buscó analizar sectores urbanos similares y no casos puntuales. Para ello se realizó un análisis de clusters (K-medias) con el software SPSS. El objetivo fue obtener valores más acertados a la hora de considerar las diferencias térmicas externas en distintos puntos de la ciudad. Para ello sólo se utilizaron las estaciones de medición donde se contaba con registros de verano e invierno y se excluyeron aquellos que no presentaban ningún registro. Como resultado se obtuvieron tres grupos compuestos por distintos sectores, y se creó una curva promedio de temperaturas que representara a cada uno de ellos (ver figura 5). En el grupo 1 se separa el centro de la ciudad (sector 1), en el grupo 2 se encuentran áreas lindantes al casco fundacional pero más dispersas, protegidas por el medio urbano (sectores 2, 6, 9 y 11); y en el grupo 3 se encuentran los sectores del límite urbano lindantes con áreas rurales o de bañados (sectores 7, 8 y 10).

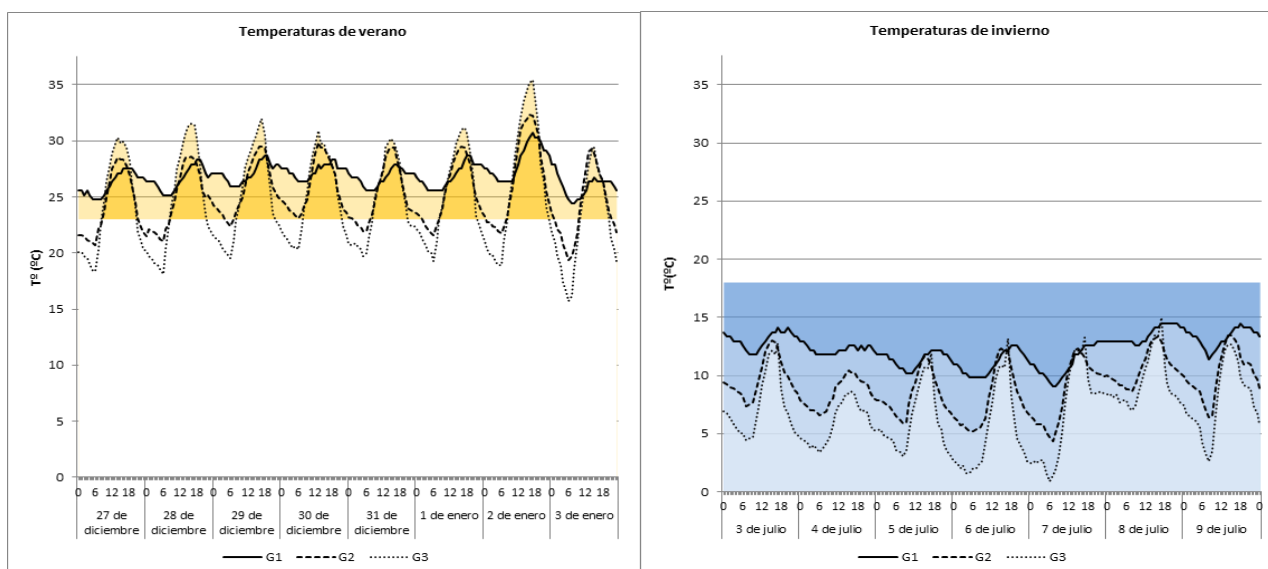


Figura 5. Curvas promedio de los agrupamientos detectados con la temperatura de una semana de invierno y verano y la representación de áreas de desconfort térmico necesarias de cubrir a partir de una temperatura de base para cada estación (18°C invierno; 23°C en verano).

El análisis de curvas promedio de invierno muestra que los tres grupos son claramente diferenciables, ya que se separan de manera más pronunciada a medida que las temperaturas son mínimas. Las de verano permiten determinar por qué algunos sectores de la periferia que se suponen más frescos, tienen la particularidad de que refrescan mucho en la noche pero también tienen temperaturas muy elevadas en el día, o sea mayor amplitud térmica, con lo cual el cálculo de grados día de refrigeración da resultados similares a otros lugares más estables. Este es el caso de áreas centrales, donde hay más estabilidad térmica por la masa construida, donde las temperaturas son elevadas por la noche y también durante el día. Allí también el cálculo de GD es alto. Entre estos dos casos extremos, se encuentra la mayoría de los puntos urbanos medidos, con situaciones intermedias. En conclusión, se observa como el grupo 1 es el que tiene temperaturas en general más estables que el resto en invierno y verano, mientras que los otros dos grupos tienen amplitudes térmicas mayores.

3.3. Potencialidades de ahorro en función del clima externo de cada mosaico urbano

En esta instancia se desarrollan cálculos para conocer la potencialidad de ahorro energético de los distintos sectores urbanos, con el fin de evaluar las diferencias de aplicar GD calculados (Reales) o GD teóricos.

La Tabla 4 muestra los cálculos de demanda teórica de energía para calefacción de un mes de invierno y uno del verano. Se indican, la demanda teórica de energía en una situación promedio de GD del mes de junio/julio y enero (estación meteorológica observatorio) y la demanda teórica de energía calculada a partir de los GD obtenidos de las mediciones realizadas (GD Experimentales). Se identifican a qué categoría de agrupamiento obtenido en la figura 5 corresponde cada localidad.

Tabla 4- Demanda de energía mensual en base a grados día mensuales teóricos a partir de la estación oficial (Observatorio La Plata) y calculados a partir de las mediciones realizadas (experimentales).

grupo	Línea Base-necesidad de energía para calefacción	DATOS DE CÁLCULO				1. Consumo de energía GD TEORICO				2. Consumo de energía GD EXPERIMENTAL				
		GMU	1. GDmes teórico invierno	1. GDmes teórico verano	2. GDmes experimental invierno	2. GDmes experimental verano	kWh/mes neto- INVIERNO	kWh/m2/mes INVIERNO	kWh/mes neto- VERANO	kWh/m2/mes - VERANO	kWh/mes neto- INVIERNO	kWh/m2/mes INVIERNO	kWh/mes neto- VERANO	kWh/m2/mes VERANO
G1	01.Casco- La Loma	2,0	270	103	131	146	325.715	38,9	124.254	14,8	158.394	18,9	176.127	21,0
G2	02.Casco- Circunvalación	2,2	270	103	208	106	326.756	43,5	124.651	16,6	251.723	33,5	128.869	17,2
G2	03.Casco- Eje fundacional	1,4	270	103	208	106	302.988	27,7	115.584	10,6	233.413	21,4	119.495	10,9
G2	04.City Bell- periferia	1,9	270	103	208	106	107.999	51,4	41.200	19,6	83.199	39,6	42.594	20,3
G2	05.City Bell- Centro	2,6	270	103	208	106	154.381	50,5	58.893	19,3	118.930	38,9	60.886	19,9
G2	06.Gonnet- Periferia	2,1	270	103	208	106	122.229	44,6	46.628	17,0	94.162	34,3	48.206	17,6
G3	07.Los Hornos- Periferia	2,4	270	103	251	123	81.993	51,2	31.279	19,5	76.223	47,6	37.275	23,3
G3	08.San Carlos- Periferia	2,0	270	103	251	123	214.777	49,6	81.933	18,9	199.663	46,1	97.640	22,5
G2	09.Tolosa- Periferia	1,7	270	103	208	106	323.123	46,5	123.265	17,8	248.924	35,9	127.436	18,4
G3	10.Villa Elisa- Periferia	2,2	270	103	251	123	195.093	45,9	74.425	17,5	181.365	42,7	88.692	20,9
G2	11.Villa Elvira- Periferia	2,3	270	103	208	106	204.251	46,0	77.918	17,6	157.349	35,5	80.554	18,2

Si analizamos la demanda de energía de invierno (Consumo de energía GD Teórico INVIERNO) podemos observar que las áreas críticas donde los consumos son más elevados, son las que tienen menor grado de compacidad o de tejido disperso, como City Bell, Los Hornos, San Carlos. Existen áreas de compacidad media que presentan las demandas de energía promedio como Tolosa, Villa Elvira y Villa Elisa, que tienen una superficie construida un poco mayor y presentan un tejido más compacto. Mientras que los sectores de mayor densidad y compacidad (mosaicos del Casco) son los que presentan menores demandas de energía. Cuando analizamos la demanda en función de los grados día reales (GD Real) de cada mosaico se puede observar que las mismas se reducen. En las zonas de mayor consolidación y compacidad en invierno es de 51%. La mayoría de los sectores de la periferia urbana del Casco Fundacional están sobreestimadas en un 23%. Mientras que los mosaicos localizados muy cercanos al área rural y bañados presentaron resultados de demanda con GD reales, cercana a la demanda con GD teóricos. Por otro lado, podemos considerar que hay áreas urbanas donde coincide mayor compacidad del tejido con menor cantidad de grados día, lo cual redundaría en una menor demanda de energía y en consecuencia, presentan menor criticidad respecto a la necesidad de reducir sus consumos. En cambio, existen áreas urbanas con mayor área de disipación vertical y horizontal, asociadas a mayor cantidad de grados día, que serían potencialmente acertadas para proponer medidas de mejoramiento térmico de su envolvente.

Al analizar la demanda de energía en verano podemos concluir que las demandas de energía teórica son más parejas. Oscilan entre 10,9 y 23,3 kW/m²/mes. En este caso áreas de mayor compacidad y áreas

localizadas en colindancia con sectores rurales o de bañados, son las que tienen mayor consumo, mientras que las zonas que se ubican entre estos dos extremos son las de consumos medios.

5. CONCLUSIONES

Se observan amplias diferencias térmicas en los distintos sectores urbanos de la ciudad de La Plata. En invierno las temperaturas oscilan entre 9,3°C y 14,3°C donde la más baja corresponde a la periferia norte y la más elevada a la zona central del Casco Fundacional. Si bien no se observa una relación directa entre el FOS o el FOT y las temperaturas medias, se puede concluir que los sectores con menores temperaturas responden a la cercanía con áreas abiertas rurales o de bañados. En el verano las temperaturas oscilan entre 24,3°C y 27,6°C demostrando menor amplitud entre los sectores urbanos. En este caso tampoco se encuentra una correlación entre el FOS y FOT y las diferencias térmicas. Por lo cual, para terminar de explicar estos comportamientos se deberá ampliar el análisis con otras consideraciones como el nivel de reparo de los vientos que provocan las masas arbóreas y la compacidad de los sectores urbanos, entre otros aspectos.

Paralelamente, se observó que los grados día mensuales calculados en base a las mediciones promedio de junio/julio presentaron amplias diferencias respecto a los teóricos. Existen varios mosaicos representativos de áreas más consolidadas que presentan registros significativamente menores (50% menos) a los teóricos. En el caso del mes de enero, la comparación con los grados día teóricos demuestran que las diferentes zonas de la ciudad se encuentran levemente subestimadas.

Como verificación de las hipótesis iniciales, los análisis de demanda de energía teórica para calefacción y refrigeración, demostraron que existen sobrestimaciones de la demanda respecto de la teórica. En las zonas de mayor consolidación y compacidad en invierno es de 51%. La mayoría de los sectores de la periferia urbana del Casco Fundacional están sobreestimadas en un 23%. Mientras que los mosaicos localizados muy cercanos al área rural y bañados presentaron resultados de demanda con GD reales, cercana a la demanda con GD teóricos. En relación al verano las subestimaciones son del orden del 40% en el área de mayor consolidación, mientras que en las periferias cercanas a áreas rurales es del 19% y en las zonas localizadas entre estos dos sectores es del 3%, cercano a los valores teóricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALANCES ENERGÉTICOS. BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL DEL AÑO 2015. Disponible en: <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>. Accedido el: El 1/03/2017.
- CHÉVEZ, P., BARBERO, D., MARTINI, I. & DISCOLI, C. Application of the k-means clustering method for the detection and analysis of areas of homogeneous residential electricity consumption at the Great La Plata region, Buenos Aires, Argentina. *Sustainable cities and Societies* (32), pp. 115-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.019>, 2017.
- CORREA, E., DE ROSA, C. Y LESINO, G.. Urban heat island effect on heating and cooling degree day's distribution in Mendoza's metropolitan area. Environmental costs. En: **EUROSUN (2008): 1st international conference on solar heating, cooling and buildings**. Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa, pp. 951-958, 2008.
- CZAJKOWSKI J. D.. Datos bioclimáticos para uso normativo en el diseño edilicio eficiente. Revisión de la normativa vigente y propuesta de mejoramiento y actualización. *Revista AVERMA*. Argentina, Vol. 11, 2007.
- DEGREE DAYS DIRECT LD. How degree days are computed. En: [<http://www.vesma.com/ddd/ddcalcs.htm>]. 2007.
- DISCOLI, C. A. **Metodología para el diagnóstico urbano-energético-ambiental en aglomeraciones intermedias. El caso del gran La Plata**. Editorial Universitaria La Plata, 2009.
- DISCOLI C A. Proyecto de Investigación Plurianual (PIP) 112-2011-0100097, CONICET “Desarrollo de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial orientado al uso racional y eficiente de la energía en áreas urbanas”. 2012.
- PÉREZ L., C. Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Aplicaciones con SPSS. Pearson Educación. Prentice Hall: Madrid, 2004.
- RODRIGUEZ ALVAREZ J. Urban Energy Index for Buildings (UEIB): A new method to evaluate the effect of urban form on buildings' energy demand. *Landscape and Urban Planning* 148, p. 170–187, 2016.
- SOSA, M. B.; CORREA, E.; CANTÓN, M. A. Morfología urbana y comportamiento térmico de canales viales. Desarrollo de un modelo predictivo para temperaturas máximas. *Revista Urbano*, U. del Bío Bío Chile, núm. 33, pp. 66-75, 2016.
- TORRERO, M. P., PÍCCOLO M. C., DE FERRERAS A. C. Relación entre grados día de calefacción y refrigeración con el consume eléctrico de Bahía Blanca. *Revista Geoacta volumen 33*, de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2007.
- VIEGAS GRACIELA MELISA, SAN JUAN GUSTAVO. Energy and Environmental Aptitude (EEA) to Assess Solar Energy Exploitation in Cities. *Resources and Environment*, 2(5): 185-192 DOI: 10.5923/j.re.20120205.02. 2012.