

ANÁLISIS DEL POTENCIAL SOLAR DE DIFERENTES SECTORES DE LA CIUDAD A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE MOSAICOS URBANOS REPRESENTATIVOS E INFORMACIÓN SOCIO-DEMOGRÁFICA

Pedro Chévez – chevezpedro@gmail.com

Graciela Viegas – gachiviegas@yahoo.com.ar

Irene Martini – irenemartini@conicet.gov.ar

Carlos Discoli – discoli@rocketmail.com

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata.

5. ARQUITETURA E ENERGIA SOLAR (5.3. Energia solar asociado ao confortu térmico de ambiente construido)

Resumen. *Se presenta un análisis del potencial para la incorporación de sistemas de energía solar en diferentes sectores de la ciudad a partir de la utilización de Mosaicos Urbanos e información socio-demográfica. Su desarrollo permite identificar las oportunidades y barreras que presenta cada sector para su implementación y, así, contar con herramientas que contribuyan a la planificación energética. Se utiliza como caso de estudio a la ciudad de La Plata (Bs.As.-Argentina).*

La metodología empleada, en primer lugar, subdivide a la ciudad en cinco áreas homogéneas urbano-energéticas. Para ello se utiliza la técnica de clustering de k-medias, con la cual cada uno de los radios censales que conforman el área de estudio es agrupado según su afinidad respecto de variables socio-demográficas y energéticas. Dichas áreas son caracterizadas con información censal y energética para analizar detalladamente su conformación y funcionamiento, los cuales se relacionan con los niveles de consolidación urbana. En segundo lugar, se selecciona un Mosaico Urbano representativo para cada una de las áreas homogéneas y se releva información morfológica y termofísica. En tercer lugar, a partir del relevamiento de áreas y mosaicos, se identifican los sectores con mayor factibilidad para la inserción de sistemas solares, atendiendo a los aspectos físicos y las limitaciones socio-demográficas. Como caso de aplicación se implementan sistemas pasivos en muros.

Los principales resultados indican que el área de mayor consolidación es poco propicia para la inclusión de sistemas solares, principalmente por la alta cantidad de viviendas especulativas de alquiler, infiriendo desinterés de los propietarios para realizar mejoras, siendo fundamental orientar políticas para que las nuevas construcciones incorporen de forma obligatoria estos sistemas. En sectores de consolidación media el potencial es elevado, al igual que en sectores de consolidación baja, sin embargo, en estos sectores las condiciones de NBI deben ser consideradas para direccionar correctamente las medidas.

Palabras clave: *Energía solar, Mosaico Urbano, Aspectos socio-demográficos.*

1. INTRODUCCIÓN

El contexto energético mundial de los últimos años ha introducido el debate en la agenda global acerca de la sustentabilidad, el uso eficiente de la energía, la utilización de energías renovables y la sustitución de combustibles fósiles. Esto se debe principalmente a que el mundo capitalista desarrolló un crecimiento económico, con desigualdad e intermitencias, desde mediados del siglo XX hasta la actualidad y con ello un consecuente incremento de la demanda energética de origen convencional y extractiva. Esto llevó a una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, lo cual genera inconvenientes asociados a la volatilidad de sus precios y su consecuente impacto sobre la economía, generando tensiones geopolíticas permanentes por el control de los recursos sobre los cuales no hay certezas acerca de los niveles de reservas futuras. Asimismo, existe un consenso generalizado en señalar la necesidad de reducir los niveles de consumo, dado que se han acentuado los efectos del cambio climático, los cuales son ocasionados por las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan principalmente por la utilización intensiva de combustibles fósiles. En relación a ello, en el ámbito urbano se han iniciado acciones concretas, aunque en nuestras regiones de manera incipiente, a los efectos comenzar a incorporar energías renovables en la ciudad y promover mejoras en la eficiencia energética tanto de los edificios nuevos como de los existentes, como así también otras iniciativas.

Bajo este contexto mundial, el sector residencial demanda cerca del 23% de la energía total (IEA, 2015). En el caso de Argentina, el sector residencial consume aproximadamente el 27% de la energía total, lo que lleva a situaciones de competencia entre sectores, en particular con el sector industrial que presenta una demanda del 22,5% del total (MINEM, 2017). Por su parte, es necesario destacar que el 90,28% de las viviendas argentinas están localizadas en áreas urbanas (INDEC, 2016). Por lo tanto, entendemos que necesariamente se deben focalizar los esfuerzos en reducir la demanda energética en las ciudades, trabajando en la eficiencia energética y en la incorporación de energías renovables, fundamentalmente en el sector residencial. Esto posibilitará alcanzar reducciones significativas en la demanda total y minimizar las problemáticas energéticas asociadas a: cortes de suministro; falta de potencia eléctrica en picos de demanda; importación de combustibles, entre otras.

En este sentido, los estudios de diagnóstico urbano-energéticos, y sobre todo los de largo plazo, se posicionan como instrumentos de vital importancia para la evaluación y formulación de políticas energéticas, tanto para la demanda como para la oferta, siendo posible gestionar desde una óptica integrada las interacciones entre los principales vectores energéticos y los sectores que estructuran este consumo.

Cabe señalar que, en general, los estudios que elaboran diagnósticos urbanos de demanda/oferta de energía no consideran la diversidad intra-urbana y abordan el área de estudio como un solo elemento. A su vez, tampoco abundan los estudios que incluyan múltiples aspectos que relacionen la reducción de la demanda de energía para los diferentes sectores de un área de estudio, aplicando simultáneamente medidas de eficiencia energética (envolvente edilicia, sustitución de equipamiento domiciliario, etc.) y de inserción de energías renovables. Algunos de los antecedentes que incorporan abordajes de este tipo son los de Viegas (2010) o Amado et al. (2016), en donde se desarrollan metodologías para el análisis de mejoras de la envolvente de los edificios y el potencial solar en diferentes sectores urbanos, pero sin considerar la proyección temporal. En relación a dicho aspecto, el presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación que intenta abordar las vacancias señaladas (desagregación de sectores e integración de acciones) e incorpora la dimensión temporal de largo plazo (Martini, 2013). El mismo plantea analizar el impacto de diferentes medidas de mejoramiento energético tales como el recambio de equipamiento, mejoramiento de envolventes e incorporación de energías renovables sobre distintas áreas urbanas simulando los efectos de su implementación en un horizonte temporal de veinticinco años.

Con respecto a la determinación del potencial solar urbano e incorporación de sistemas no convencionales, se presentan numerosos trabajos que se basan en diferentes técnicas de relevamiento. En este sentido, el trabajo de Gadsen et al. (2003) parte de tipologías de vivienda representativas de la ciudad de Leicester (UK), sobre las cuales se ensaya la aplicación de sistemas solares pasivos, como así también sistemas de agua caliente sanitaria y fotovoltaicos bajo un entorno GIS. Una metodología similar se presenta en Wegertseder et al. (2016), donde se evalúa el potencial solar de sectores urbanos a partir tipologías representativas, analizando el aporte de las tecnologías solares sobre el consumo energético diario y sobre las redes de distribución eléctricas, utilizando como caso de estudio la ciudad chilena de Concepción. En Compagnon (2004) se presenta la simulación de un sector urbano, a partir de su modelado en tres dimensiones, en el cual se evalúa el potencial solar de fachadas y techos. Por su parte, el proyecto POLIS (2012) – Identification and mobilisation of solar potentials via local strategies- relevó el potencial solar de seis ciudades europeas con el objetivo de promover el uso de energía solar a escala urbana, generar insumos para la implementación de políticas y, fundamentalmente, ahorrar energía. Para dicho relevamiento se empleó la tecnología LiDAR, que permite crear un modelo digital de un sector urbano y, a partir de éste, obtener la potencialidad de las diferentes superficies que posee dicho sector. La tecnología LiDAR también se utiliza en otros trabajos para el relevamiento del potencial solar, como por ejemplo el de Brito et al. (2017), aplicado sobre la ciudad de Lisboa. También se han desarrollado trabajos a partir de modelos urbanos tridimensionales construidos en entorno CAD, como es el caso de Eicker et al. (2014), donde se evalúa el potencial solar y el reciclado de la envolvente edilicia de algunos sectores de la ciudad. En base a los antecedentes, es posible detectar que los trabajos mayormente analizan el potencial solar en base a las propiedades físicas o morfológicas del sitio, sin considerar otro tipo de variables que puedan condicionar la incorporación de tecnologías solares.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO

En función de la problemática planteada y de la revisión bibliográfica, el presente trabajo propone analizar la potencialidad de incorporación de sistemas de energía solar en diferentes sectores de la ciudad, teniendo en cuenta tanto los aspectos morfológicos como socio-demográficos. Para ello se requiere de: (i) la delimitación de áreas homogéneas urbano-energéticas, su caracterización socio-demográfica y la identificación de los niveles de consolidación urbana; (ii) el estudio de un Mosaico Urbano representativo de cada área, los cuales permiten relevar características morfológicas-urbanas y termo-físicas. En base a dichos relevamientos, es posible (iii) determinar el potencial de incorporación de sistemas de energía solar a los diferentes mosaicos, considerando simultáneamente tanto las características socio-demográficas como las características de la forma urbana, lo cual permite identificar las oportunidades y las barreras que presenta cada sector para la implementación de sistemas solares.

De esta manera, es posible contar con mayores herramientas que contribuyan a orientar de una manera más eficiente los recursos. A su vez, el potencial solar obtenido para cada área homogénea podrá ser utilizado para construir escenarios urbano-energéticos, junto con otro tipo de medidas, en publicaciones futuras. Para ello se utiliza como caso de estudio a la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

3. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La ciudad de La Plata es la capital de la provincia de Buenos Aires (Argentina), se ubica al noreste de la misma, en las coordenadas 34° 55' S y 57° 17' O. Se encuentra a 56 km al sudeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a unos 10 km al sudoeste de la costa del Río de la Plata. La ciudad contaba para el año 2014 con una población estimada de unos 631.831 habitantes. Por su parte, la ciudad presenta ciertas características distintivas, principalmente asociadas al trazado de su casco urbano que fue proyectado desde cero para la fundación de la ciudad en 1882. El plano original se basó en la cuadrícula clásica utilizada en la mayoría de las ciudades bonaerenses, presente desde las Leyes de Indias, como así también en los preceptos higienistas que comenzaban a difundirse. El resultado final fue una cuadrícula de 5

km de lado, con manzanas de 120 m x 120 m (orientadas a medio rumbo), con dos bulevares centrales que dividen la ciudad en el eje NE-SO (eje cívico) y un sistema de diagonales, avenidas y plazas, superpuesto a la grilla ortogonal. Por su parte, el ancho de las avenidas quedó establecido en 30 m y el de las calles en 18 m, atendiendo a generar fluidez en el tránsito y en la circulación del aire, este último ligado a las ideas higienistas. En este sentido, las manzanas adyacentes al eje cívico fueron proyectadas con una medida de 60 x 120 m, las cuales incrementan su dimensión de a 10 m hasta alcanzar los 120 m de lado (Morosi, 1999). Posteriormente, los distintos códigos urbanos de la ciudad intentaron mantener estos preceptos regulando el crecimiento urbano en altura de acuerdo a cada zona. Esta situación hace de la ciudad un interesante caso de análisis para conocer su potencial de reducción de su consumo de energía e implementar tecnologías solares. El trazado original se puede observar en la Fig. 1, el cual se encuentra señalado como 'Casco Urbano', y es el sector de mayor consolidación de la ciudad, a su vez, la ciudad ha sobrepasado los límites planteados inicialmente y se ha expandido de forma diferenciada en el territorio, pero en general respondiendo a un crecimiento de baja densidad principalmente sobre las grandes vías de comunicación.

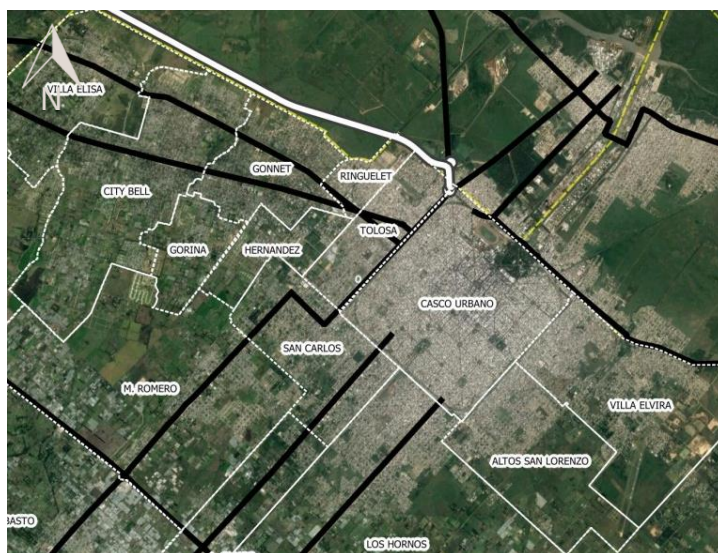


Figura 1- Imagen aérea del caso de estudio (ciudad de La Plata). Escala: 1:250.000.

4. MÉTODOS: UTILIZACIÓN DE ÁREAS HOMOGÉNEAS Y MOSAICOS URBANOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR DE DISTINTOS SECTORES URBANOS

La metodología consta de tres etapas: (i) inicialmente, es necesario delimitar áreas homogéneas urbano-energéticas, caracterizadas con información censal y se determina su grado de consolidación urbana; (ii) en segundo lugar, se selecciona un Mosaico Urbano para cada área homogénea y se analizan sus características morfológicas-urbanas y termo-físicas y (iii) por último, se analiza el potencial de incorporación de sistemas de energía solar a los diferentes mosaicos considerando, de forma simultánea, las condiciones socio-demográficas y morfológicas relevadas previamente.

4.1. Métodos para la delimitación y caracterización de áreas homogéneas a partir de variables urbano-energéticas

Las áreas homogéneas son sectores de la ciudad que presentan características internas similares en cuanto al comportamiento de una serie de variables socio-demográficas y energéticas predefinidas. Para su delimitación se necesita, en primer lugar, caracterizar a las unidades censales más pequeñas (radios censales) con la información requerida y, en segundo lugar, agruparlos según su afinidad.

Por lo tanto, primero, es necesario representar territorialmente una serie de variables (a) socio-demográficas y (b) energéticas para reconocer de manera separada su comportamiento, detectar regiones con características particulares y, a su vez, detectar correlaciones entre las variables. Para ello, se elaboran mapas con las variables que se exponen a continuación:

(a) Variables socio-demográficas: 1- Personas/hogar; 2- Habitaciones/hogar; 3- [%] Hogares con necesidades básicas insatisfechas; 4- [%] Hogares con gas por red; 5- [%] Hogares con tipología de vivienda 'Casa'; 6- [%] Hogares con vivienda de calidad constructiva 'Satisfactoria'; 7- Habitantes/hectárea; 8- Hogares/hectárea; 9- Personas ocupadas; 10- Edad promedio y 11- [%] Hogares con vivienda propia.

(b) Variables energéticas: 1.- Demanda eléctrica promedio por usuario; 2.- Demanda de gas natural por red promedio por usuario y 3.- Demanda de combustibles a granel promedio por usuario.

Para analizar su nivel de correlación, utilizando como unidad de análisis a los radios censales, se elaboró una ficha temática para cada una de las once variables socio-demográficas donde se construyen tres gráficos de dispersión. Cada

gráfico representa el cruce entre la variable socio-demográfica y las tres variables energéticas (Fig.2). De allí se obtienen los grados de correlación (R^2) de cada una de las variables consideradas.

A partir de reconocer aquellos cruces con mayor grado de correlación, se seleccionan cuatro variables socio-demográficas y dos variables energéticas, las cuales permitirán realizar el agrupamiento urbano-energético de radios censales (RC) para delimitar las áreas homogéneas (AH).

Para el agrupamiento de los RC, que constituye la segunda etapa, se utiliza la técnica de clustering de k-medias. Las AH obtenidas del agrupamiento de RC presentarán comportamientos internos similares respecto de las seis variables seleccionadas. En este sentido, puesto que el objetivo de delimitar las AH es el ensayo de la incorporación de sistemas de energía solar, considerando los puntos críticos tanto energéticos como sociales o morfológicos, se opta por un agrupamiento que responda a dichos aspectos.

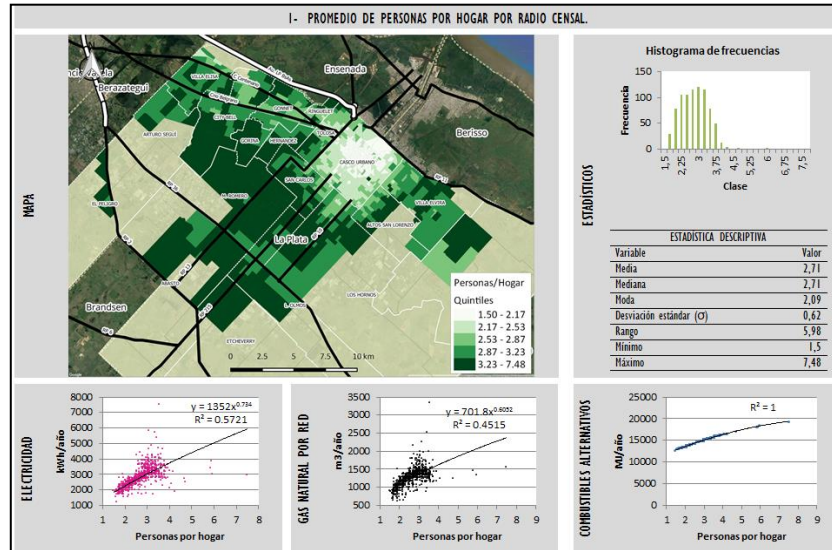


Figura 2- Ficha temática de una de las variables socio-demográficas y el cruce con la demanda energética.

En términos operativos, el algoritmo utiliza como insumo “n” cantidad de vectores de “d” dimensiones y debe conocer a priori el número de clases “k” a detectar. Primero, el algoritmo elige al azar del conjunto de “k” vectores a clasificar, que serán inicialmente los centroides de cada clase (habrá “k” clases). Posteriormente, el algoritmo itera hasta que se encuentra una situación estable que se detalla a continuación. En cada iteración se realizan dos pasos: (i) a cada uno de los “n” vectores se le asigna la clase cuya distancia euclídea al centroide sea menor y (ii) se recalculan los centroides de cada clase. Si los centroides de la iteración actual coinciden con los de la anterior iteración, el algoritmo termina (situación estable), en el caso contrario el ciclo continúa realizando los dos pasos anteriores. En este trabajo se tiene: “n”=825 –cantidad de radios censales-; “d”=6 -variables seleccionadas-; “k”= 5 –cantidad de grupos a clasificar-.

En este sentido, para la preparación de los datos, en principio, es necesario asociar la información que se utilizará para el clustering a los 825 radios censales urbanos con los que cuenta el caso de estudio. Por ende, cada RC cuenta con un vector de seis dimensiones que incluye la información urbano-energética seleccionada y cuyos valores deben estar normalizados entre 0 y 1.

Una vez que se ejecuta el algoritmo, a cada uno de los 825 radios censales se le asigna la pertenencia a un cluster y, a partir de esto, es posible construir un mapa para identificar la ubicación territorial de cada uno de éstos, los cuales constituyen las denominadas áreas homogéneas. En esta instancia es posible asignar, a cada AH, información asociada obtenida del último censo disponible. Al momento de integrar la información de los diferentes radios censales en las AH, es necesario ponderar el peso de cada radio censal en la totalidad de cada área (Ec. 1).

$$\bar{X}_v = \sum_{i=1}^n V_i * \left(\frac{Hog_i}{Hog_{tot}} \right) \quad (1)$$

Donde

- \bar{X}_v =promedio ponderado de la variable V en un área homogénea
- V_i = valor de la variable en el radio censal (i)
- Hog_i =cantidad de hogares en el radio censal (i)
- Hog_{tot} =cantidad total de hogares en el área homogénea

Por su parte, siguiendo la metodología planteada en Chévez et al. (2016), es posible identificar el nivel de consolidación urbana (alta, media y baja) de los radios censales que conforman cada AH y, de esta manera, establecer el nivel de consolidación del AH (alta, media-alta, media, media-baja y baja). Para evaluar el grado de consolidación de un radio censal, se analiza la intensidad de ocupación del territorio a partir de la densidad poblacional, edilicia y la

cantidad de redes de servicios que se disponen en el mismo.

Una vez analizadas las AH, es posible relevar información detallada de las distintas variables involucradas a partir del análisis de los MU.

4.2. Método para la selección, caracterización morfológica y termo-física de Mosaicos Urbanos

Para realizar el estudio morfológico y termo-físico de los distintos sectores de la ciudad se plantea la utilización de Mosaicos Urbanos, los cuales son pequeños sectores de la ciudad representativos de áreas mayores que, por consiguiente, permiten el estudio de las mismas sin necesidad de efectuar un relevamiento sobre toda su extensión (Viegas, 2010). En este trabajo, se adoptará el estudio de un MU por cada AH delimitada.

Para obtener información sobre las características morfológicas y termo-físicas de cada MU, se realiza la observación de imágenes aéreas y satelitales, como así también relevamientos in situ. Este procedimiento consiste en relevar el área y representar los datos obtenidos con programas CAD, para obtener gráficos simplificados (2D y 3D) de los llenos/vacíos y de la volumetría real. A partir de éstos, se obtiene una cuantificación de las superficies expuestas, las cuales permiten calcular otros indicadores de interés como el coeficiente volumétrico de pérdidas de calor [G_{cal}], el asoleamiento de muros y techos, entre otros.

En consecuencia, se selecciona un MU de cada área homogénea, teniendo en cuenta su representatividad estadística en el área y considerandosu disponibilidad para instalar el equipamiento de medición. Las categorías de variables analizadas para cada uno de los mosaicos se exponen a continuación:

Inicialmente se estudia la [1] *Representatividad* del MU. Allí se analizan los estadísticos que muestran la distancia del vector del RC donde se ubica el MU seleccionado, respecto del vector centroide del AH obtenido a partir del clustering. Con el histograma y la distancia euclídea se observa en qué medida es representativo el MU seleccionado.

Posteriormente, se analizan [2] *Características morfológicas*, donde se obtienen de forma desagregada las superficies que conforman el MU. Aquí se identifican, por ejemplo, superficies de muros orientados al NO/NE y techos, las cuales interesan en la construcción de escenarios a la hora de proponer la inserción de sistemas de energía solar. También se evalúan las obstrucciones solares de los muros NO/NE y de techos, para la situación más desfavorable (21 de junio), utilizando el modelo gráfico computacional desarrollado por Mesa et al. (1999) que es una rutina que funciona bajo un entorno CAD.

También se estudia la [3] *Calidad constructiva*, donde se relevan los datos de la calidad de los materiales de las viviendas a partir de información del censo para el RC donde se emplaza el MU. Por su parte, la categoría [4] *Superficie de techos* releva los distintos tipos de tecnologías constructivas de las cubiertas.

En función de las variables e indicadores relevados previamente, es posible en [5] *Cálculo térmico*, obtener el coeficiente de transmitancia térmica medio (U_{medio}) de muros, ventanas y techos. Para ello, se asignan determinados valores de U a los distintos elementos constructivos según la calidad de los materiales detectada en [3]. A partir del cálculo del U de los elementos, se calcula el coeficiente de transmitancia térmica medio del MU (U_{medio} MU) utilizando como simplificación que un 15% de la superficie vertical es ocupada por ventanas.

Posteriormente, se calcula el [6] *Coficiente volumétrico de pérdidas de calor* [$G_{cal}MU$] utilizando la Ec.2 (IRAM, 2001). También se obtiene valor máximo admisible [$G_{adm}MU$] según la norma IRAM 11604, con el que se puede obtener el ahorro potencial en energía para calefacción del mosaico estudiado.

$$G_{cal}MU[W/m^3 * K] = \frac{U_{medio}MU[W/m^2 * K] * S_{env} [m^2]}{V[m^3]} + (0,35 * n) \quad (2)$$

Donde

- $G_{cal}MU=$
- $U_{medio}MU=$ es el coeficiente de transmitancia promedio de todo el mosaico
- $S_{env}=$ es la superficie total expuesta de la envolvente
- $V=$ es el volumen edificado del mosaico en metros cúbicos
- 0,35= capacidad específica asumida del aire, en watt hora por metro cúbico por grados kelvin
- $n=$ es el número de renovaciones de aire promedio por hora y se adopta un valor de $n=2$

Por último, a partir de mediciones de temperaturas externas tomadas en los MU, se cuenta con la [7] *Condición climática* de cada uno de estos. Utilizando mediciones para el mes de junio/julio, se calcularon los Grados día de calefacción en base 18°C (Viegas et al., 2017), cuya utilidad radica en conocer la incidencia del ambiente construido sobre el clima urbano y, de esta manera, contar con mayores herramientas para evaluar el impacto de medidas de mejoramiento energético y la fracción solar capaz de cubrir en las distintas áreas de la ciudad.

4.3. Métodos para determinar el potencial solar de los diferentes MU asociados al AH

A partir de la información relevada es posible caracterizar las diferentes áreas homogéneas de la ciudad y, en función de ello, identificar la potencialidad o las dificultades para la implementación de las diferentes tecnologías de energía solar, las cuales dependen de las características físicas, morfológicas y constructivas de cada AH, dado que éstos dependen directamente de las superficies disponibles asoleadas y de las obstrucciones solares. A su vez, es necesario considerar las condiciones socio-demográficas o económicas, atendiendo a factores como la proporción de

inquilinos/propietarios, niveles de NBI, presencia del gas por red, entre otros factores, los cuales inciden directamente en la viabilidad de aplicación los distintos sistemas solares como paneles FV, colectores de agua y sistemas pasivos (muros acumuladores, invernaderos, colectores de aire y ganancia directa). Este relevamiento permite el direccionamiento de programas específicos que tengan en cuenta las condicionantes de cada sector, lo cual evitaría el lanzamiento de programas genéricos que consideren al caso de estudio como un único elemento sin diferencias internas particulares.

En el presente trabajo, a modo de ejemplo, se calcula el potencial máximo para la implementación sistemas pasivos solares en muros, liberando la superficie de techos para la instalación de paneles FV y colectores de agua, cuyo análisis se plantea para próximas publicaciones. Para ello, sobre cada uno de los MU se aplica la siguiente metodología:

En primer lugar, se calcula el aporte de un sistema pasivo genérico aplicado sobre el MU para el mes más desfavorable (junio) calculado a partir de la Ec.3.

$$Q_{sp_i}(\text{kWh}) = A_p(\text{m}^2) * H\left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} * \text{día}\right) * 30(\text{días}) * \eta_{sp} * 0,277\left(\frac{\text{kWh}}{\text{MJ}}\right) \quad (3)$$

Donde

- Q_{sp_i} =aporte de energía al MU por parte de un sistema pasivo i (kWh)
- A_p = es la superficie disponible NE/NO de cada MU (m^2)
- H = promedio diario de radiación solar sobre un plano a 90° orientado al NO/NE en junio ($8,4 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} * \text{día}$)
- 30 días = días del mes de junio
- η_{sp} = eficiencia de un sistema pasivo genérico. Promedio entre muros acumuladores, invernaderos, colectores de aire y ganancia directa, se adopta 0,5.

Asimismo, se calcula la carga térmica del MU para dicho mes (Ec.4), utilizando las expresiones de la norma IRAM 11604 (IRAM, 2001):

$$Q_{cal}(\text{kWh}) = \frac{24 * G_{med}\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^3\text{K}}\right) * Vol_v(\text{m}^3) * GD_{jun}}{1000} \quad (4)$$

Donde

- Q_{cal} =demanda teórica de calefacción del MU para junio (kWh)
- 24= tiempo de calefacción en horas por día
- G_{med} =coeficiente volumétrico de pérdidas del MU
- Vol_v = volumen del MU
- GD_{jun} =grados día calculados a partir de mediciones de T° en el MU

La Ec. 5 calcula la fracción solar que es posible cubrir con la superficie de muros (NE/NO) asoleados:

$$Fs_i = Q_{sp_i}/Q_{cal} \quad (5)$$

Donde

- Fs_i = fracción solar del sistema pasivo i
- Q_{sp_i} =aporte de energía al MU por parte del sistema i
- Q_{cal} =demanda teórica del MU

Conociendo la fracción solar del sistema promedio propuesto, es posible afectarla por la proporción de viviendas que efectivamente podrían incorporar sistemas pasivos (proporción de propietarios) y, de esta manera, obtener la Fs solar afectada para el AH (Ec. 6):

$$Fs_i' = Fs_i * P_{AH} \quad (6)$$

Donde

- Fs_i' = fracción solar afectada del sistema i
- Fs_i =fracción solar de un sistema i
- P_{AH} =Porcentaje de propietarios de vivienda en el AH

5. RESULTADOS: LA CIUDAD DE LA PLATA, DELIMITACIÓN DE CINCO ÁREAS HOMOGÉNEAS Y SELECCIÓN DE LOS MOSAICOS URBANOS REPRESENTATIVOS.

En función de la metodología propuesta, se presentan los resultados: (i) breve descripción de las AH urbano-energéticas; (ii) descripción de los MU; y (iii) análisis de la potencialidad de incorporación de sistemas de energía solar.

5.1. Delimitación y caracterización de cinco áreas homogéneas residenciales para la ciudad de La Plata

Se cuenta con los valores asociados de las variables seleccionadas para cada uno de los 825 RC que conforman el

área de estudio, normalizados entre 0 y 1. A partir de éstos, se realiza un agrupamiento con la técnica de clustering de k-medias utilizando el software SPSS. Dado que este algoritmo necesita conocer a priori el número de clusters (k) a clasificar, se realizaron diferentes pruebas de agrupamientos, partiendo desde cuatro hasta ocho clusters ($4 \leq k \leq 8$). A partir de los análisis previamente realizados se optó por una clasificación de $k=5$.

El resultado territorial se aprecia en la Fig.3, donde se observan los cinco clusters de radios censales obtenidos que conforman las respectivas áreas homogéneas (AH). Allí se detecta, en primera instancia, un AH localizada en el centro del trazado fundacional, es decir, el casco urbano, la cual se denomina AH1-Casco centro; luego, a su alrededor, una segunda AH que se extiende hasta los límites del casco urbano denominada AH2- Casco bordes; posteriormente, se observa un AH que rodea el trazado fundacional y que, también, abarca sectores intersticiales de la periferia, llamada AH3- Expansión del casco; por otro lado, en el eje noroeste, conformado por las localidades de Gonnet, City Bell y parte de Villa Elisa y M. Romero, se ubica la denominada AH4-Eje noroeste y, en última instancia, se observa un AH que cubre los radios censales periféricos de menor consolidación, llamada AH5-Periurbano.

Una vez obtenidas las AH es posible describirlas a partir de diferentes variables presentes en el censo o por medio de análisis más detallados, como puede ser el relevamiento de Mosaicos Urbanos y encuestas energéticas por vivienda. En este sentido, se analizan diferentes variables obtenidas del censo que servirán como insumo para describir a cada una de las AH al momento de evaluar la implementación de sistemas no convencionales. La Tab.1 resume las variables socio-demográficas estudiadas.

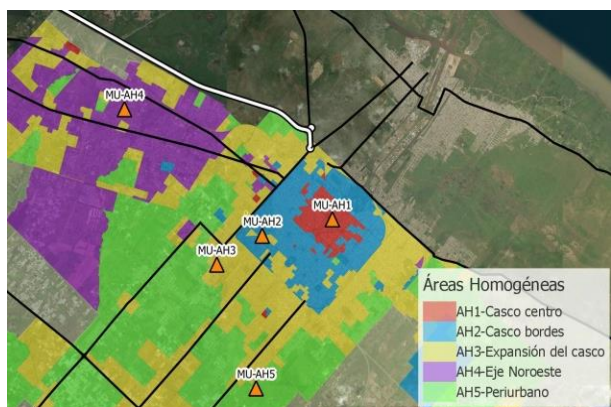


Figura 3- Resultado territorializado de la clasificación de las AH. Se señala la ubicación de los MU relevados.

Tabla 1- Variables asociadas a las AH obtenidas.

	AH1	AH2	AH3	AH4	AH5	
Cantidad de radios censales	132	202	292	84	115	
Habitantes	62080	130779	266361	70224	136594	
Hogares	32041	56182	90165	23628	37555	
Superficie (km ²)	5,35	26,75	88,84	54,37	121,34	
Habitantes/ha	116,09	48,89	29,98	12,92	11,26	
Hogares/ha	59,92	21,00	10,15	4,35	3,09	
Personas/hogar	1,94	2,33	2,95	2,97	3,64	
Habitaciones/hogar	2,86	3,33	3,26	3,93	2,64	
[%] Personas ocupadas	60,45	65,64	65,41	68,54	68,42	
[%] Vivienda propia	46,78	63,29	77,47	83,66	82,56	
[%] NBI	2,25	1,48	6,60	3,00	28,40	
[%] Gas por red	98,90	97,45	78,09	85,37	24,43	
[%] Tipologías	Casa	17,39	53,67	86,84	96,04	74,47
	Departamento	82,56	46,06	8,99	2,19	1,98
	Viv. precaria	0,04	0,27	4,16	1,77	23,55
[%] Calidad constructiva	Satisfactoria	93,60	92,65	75,21	80,48	34,35
	Básica	5,63	6,45	16,63	13,98	28,38
	Insuficiente	0,77	0,90	8,16	5,54	37,27
Nivel de consolidación	Alta	Media-alta	Media-baja	Baja	Baja	

5.2. Selección y caracterización morfológica y termo-física de Mosaicos Urbanos para la ciudad de La Plata

Inicialmente se verifica la representatividad del MU seleccionado en cada una de las AH. Para ello, se recurre a la información utilizada para la ejecución del clustering y se analiza, para cada uno de los cinco casos, la distancia euclidiana simple entre el centroide del RC sobre el cual se emplaza el MU y el centroide de su correspondiente cluster (AH). Asimismo, para cada caso, se construye un histograma que permite evaluar la frecuencia de aparición del rango al que pertenece la distancia obtenida (Tab.2). En los cinco casos se obtienen distancias que se ubican en rangos que tienen una alta frecuencia de aparición, por lo tanto es posible afirmar que presentan un alto grado de representatividad del área homogénea a la que pertenecen.

Tabla 2- Representatividad de los cinco Mosaicos Urbanos asociados a cada una de las AH.

Representatividad	AH1-CascoEje	AH2- La Loma	AH3-San Carlos	AH4-City Bell centro	AH5-Los Hornos
Imagen aérea					
Histograma de frecuencia de distancias de los RC					
Distancia Euclídea	0,25	0,13	0,08	0,069	0,37

Por otra parte, en la Tab. 3 se relevan las restantes categorías de variables mencionadas en la sección 4.2.

Tabla 3- Relevamiento de los cinco Mosaicos Urbanos asociados a cada una de las AH.

Características morfológicas	MU1-AH1	MU1-AH2	MU3-AH3	MU4-AH4	MU5-AH5					
Superficie de terreno (m ²)	14.518	14.690	14.335	9.927	7.937					
Envolvente vertical (m ²)	23.421	8.352	7.299	4.056	2.151					
Muros (m ²)	19.908	7.099	6.204	3.448	1.828					
Ventanas (m ²)	3.513	1.253	1.095	608	323					
Muros NO (m ²)	3.875	1.364	1.408	673	564					
Muros NE (m ²)	2.783	1.182	1.197	958	478					
Techos total superficie (m ²)	9.887	5.951	4.616	3.262	1.083					
Obstrucción solar NO (%)	60%	43%	48%	39%	29%					
Obstrucción solar NE (%)	56%	22%	31%	39%	14%					
Obstrucción solar techo (%)	23%	10%	4%	2%	1%					
Muros NO+NE asoleados (m ²)	2774,10	1699,44	1558,09	994,91	811,52					
Techos asoleados (m ²)	7612,99	5355,9	4431,36	3196,76	1072,17					
Cantidad de viviendas (Unidad)	137	65	33	23	12					
μ Muros NO+NE asoleados [m ² /vivienda]	20,24	26,14	47,21	43,25	67,62					
μ Techos asoleados [m ² /vivienda]	55,56	82,39	134,28	138,98	89,34					
Superficie construida total (m ²)	17.138	8.730	4.965	2.072	1.601					
Volumen (m ³)	109.983	24.700	16.369	9.860	4.329					
Calidad constructiva	%	%	%	%	%					
Viviendas satisfactorias	93,60	92,65	75,21	80,48	34,35					
Superficie de Techos	m²	%	m²	%	m²	%				
Chapa galvanizada	7.910	80,1	4.560	76,6	4.062	87,9	1.305	40,0	791	73,0
Teja roja	0	0	448	7,5	369	7,9	1.957	60,0	162	14,9
Losa	1.977	19,9	943	15,9	185	4,2	0	0	130	12,1
Cálculo térmico	U	U	U	U	U					
U _{medio} muro	2,40	2,41	2,50	2,47	2,72					
U _{medio} ventana	4,35	4,35	4,48	4,44	4,78					
U _{medio} techo	1,53	1,51	1,66	1,53	2,20					
U _{medio} MU	2,35	2,21	2,36	2,22	2,75					
Coefficiente volumétrico de pérdidas	MU1	MU2	MU3	MU4	MU5					
G _{cal} MU	1,43	2,07	2,56	2,50	2,92					
G _{adm} MU	1,02	1,06	1,07	1,10	1,16					
Condición climática	MU1	MU2	MU3	MU4	MU5					
Grados Día base 18 MU (junio)	208	131	251	208	251					

5.3. Análisis del potencial solar de las diferentes MU considerando las condiciones asociadas del AH.

En función de las superficies disponibles de cada MU y las condiciones socio-demográficas de las AH, se analizan las condiciones que presenta cada una de las AH para la inserción de sistemas solares. Para ello, se analiza la fracción solar afectada (Fs') que se puede cubrir con los muros orientados al NE/NO en cada MU (Tab. 4).

Tabla 4- Cálculo de las fracciones solares de cada MU.

	MU1	MU2	MU3	MU4	MU5
Potencial energético junio (kWh)	96818,1	59298,5	54377,3	34692,5	28305,5
Demanda energética junio (kWh)	785120,2	160749,5	252433,5	123052,8	76147,4
Fracción solar (Fs)	0,12	0,37	0,22	0,28	0,37
Propietarios en el AH	46,7 %	63,2 %	77,4 %	83,6 %	82,5 %
Fracción solar afectada (Fs')	0,06	0,23	0,17	0,24	0,31

El **MU1** presenta la menor superficie disponible para la instalación de sistemas solares de los cinco casos, con valores promedio por vivienda de 20,24 m² de muros NO/NE y 55,56 m² de techos, debido a la alta consolidación que presenta el área en la cual se inserta. En la información del AH se puede verificar que únicamente un 46,7% de los hogares es propietario de su vivienda, por lo que la incorporación de sistemas se restringe notablemente. Por su parte, se observa que este sector de la ciudad presenta los hogares más reducidos (1,94 Pers/Hog.), una densidad muy elevada (116,09 Habitantes/Ha.), un nivel de NBI bajo (2,25%), una presencia del gas por red prácticamente total (98,90%), una preponderancia de tipologías de departamentos (82,56%) y una calidad constructiva mayormente satisfactoria (93,6%). Si bien los hogares son reducidos, la condición climática intra-urbana de invierno no es de las más rigurosas (208 GD) y la condición socio-económica del sector es favorable; se encuentra una gran proporción de inquilinos, lo que resulta en la Fs' más baja de la ciudad. Por lo tanto, para alcanzar una amplia implementación de sistemas solares, a futuro se requeriría de una medida particular como por ejemplo normativas que soliciten la inserción de estas tecnologías en las edificaciones multifamiliares nuevas, las cuales se destinarán fundamentalmente para alquiler.

El **MU2** se inserta en un sector con una consolidación media-alta y, por tal motivo, presenta un promedio por vivienda de 26,14 m² de muros disponibles orientados al NE/NO y 82,39 m² de techos. En el AH2, se genera la transición entre las viviendas con tipología departamento a la tipología casa, más característica de la periferia. En este sentido, un 53,67% de las viviendas son casas y un 46,06% son departamentos. Asimismo, la calidad constructiva es principalmente satisfactoria (92,65%), la red de gas abarca prácticamente a la totalidad de los hogares (97,45%), los

niveles de NBI son muy bajos (1,48%), la densidad desciende significativamente (48,89 Habitantes/Ha.), la media de personas por hogar es de 2,33 y los hogares propietarios de vivienda ascienden a un 63,29%. En síntesis, esta AH presenta la menor rigurosidad climática intra-urbana de invierno (131 GD), hogares reducidos y una considerable superficie disponible para la incorporación de energía solar (la mayor F_s de las cinco AH). Sin embargo, también existe una proporción importante de inquilinos, lo cual genera que la F_s' sea de 0,23, disminuyendo su potencial solar. En este sentido, se debería adoptar la misma consideración que en el AH1 referida a las nuevas edificaciones; mientras que para las existentes, considerando que se trata de un sector con buenos indicadores socio-económicos, se podrían implementar incentivos para la difusión de estos sistemas de forma masiva al menos para los propietarios.

El **MU3** se inserta en un sector urbano de consolidación media-baja, por lo cual las densidades descienden notablemente, alcanzando los 29,98 Habitantes/Ha. En este sentido, las superficies promedio disponibles de muros orientados al NE/NO son de 47,21 m² y de techos 134,28m², lo cual representa un valor muy elevado. En este sector, las tipologías más representativas son las casas (86,84%), las viviendas con construcción satisfactoria son un 75,21%, la red de gas logra abastecer a un 78,09% de los hogares y el nivel de NBI alcanza un valor del 6,6%. Asimismo, los hogares cuentan con una media de 2,95 personas y la condición de propiedad de la vivienda alcanza a un 77,47% de los hogares. Las particularidades de este sector indican que las superficies disponibles para equipos solares son vastas, sin embargo la condición climática intra-urbana es muy rigurosa, el por ello que la F_s no sea demasiado elevada. Esta, a su vez, se ve disminuida por una cierta proporción de inquilinos, alcanzando un valor de F_s' de 0,17. Por su parte, las condiciones de NBI son más altas que en AH1 y AH2, por lo que se necesitarían programas específicos más concretos que las facilidades que brindan los incentivos, como por ejemplo subsidios destinados a la compra de sistemas solares. Cabe destacar que en esta AH, más de un quinto de la población no cuenta con gas por red, por lo que la sustitución de fuentes energéticas costosas como la leña y el GLP por energía solar tendrían un impacto muy positivo en la población.

El **MU4** corresponde a un sector de consolidación baja, en el cual la densidad presenta un valor de 12,92 Habitantes/Ha. y, en consecuencia, los valores promedio de muros orientados al NE/NO son de 43,25 m² y de techos unos 138,98 m². Las tipologías de vivienda más representativas son las casas, con una participación del 96,04% y la calidad constructiva es mayormente satisfactoria (80,48%). La red de gas abarca a un 85,37% de los hogares, el nivel de NBI es del 3% y se encuentra una alta proporción de hogares propietarios de viviendas (83,66%). Por su parte, el tamaño de los hogares es de 2,97 Pers./Hog. Esta AH cuenta con las viviendas promedio más grandes de la ciudad, por ende las superficies disponibles para sistemas solares es abundante ($F_s'=0,24$), a su vez, la condición socio-económica muestra indicadores satisfactorios, por lo cual se trata de un sector donde los incentivos podrían ser una política viable.

El **MU5** también se inserta en un sector de consolidación baja, sin embargo, este sector presenta condiciones de precariedad considerables. En este sentido, el nivel de NBI del sector alcanza un 28,40%, presenta una media de 3,64 Pers/Hog. y 2,64 Habitaciones/Hog., lo que representa una condición de hacinamiento importante. La proporción de viviendas con calidad constructiva satisfactoria es del 34,35%, la red de gas alcanza a un 24,43% de los hogares y un 82,56% de los hogares son propietarios. Las superficies promedio disponibles de muros orientados al NE/NO son de 67,62 m² y un promedio de techos de 89,34 m². En tanto, se obtiene el F_s' más alto de las cinco AH, alcanzando un valor de 0,31. Es por ello que en esta AH se debería focalizar fuertemente en una implementación masiva de fuentes no convencionales, puesto que se lograría cubrir una cantidad de energía considerable, la cual en su mayoría es abastecida por fuentes como la leña, el kerosene o el GLP (debido a la escasa cobertura del gas por red). Además, se trata de un sector con una importante vulnerabilidad social, con indicadores de NBI cercanos al tercio de la población, por lo cual el direccionamiento de medidas debe ser específicamente diseñado y orientado a dicha población, siendo necesario contemplar tanto la instalación de sistemas solares como el mejoramiento de la edificación existente.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido analizar la potencialidad de incorporación de sistemas de energía solar en distintos sectores de la ciudad desde una óptica que incluye tanto los aspectos morfológicos-urbanos, termo-físicos y de clima intra-urbano de cada sector, como así también la dimensión socio-demográfica, que es de vital importancia para la aplicación de políticas energéticas. En relación a este aspecto, se han observado diferencias sustanciales entre las diferentes áreas homogéneas, lo que conlleva al diseño de medidas diferenciadas y específicas para cada sector, las cuales pueden ser ensayadas mediante la construcción de escenarios en futuras publicaciones.

Por tal motivo, es posible afirmar que la delimitación y el análisis de AH se convierte en un método de utilidad para identificar sectores urbanos con características internas similares pero con diferencias entre sí, puesto que de esta forma es posible obtener una descripción urbano-energética sectorizada de la ciudad. Por su parte, la utilización de MU también ha demostrado ser de utilidad para el estudio morfológico y de asoleamiento de las áreas, dado que no se requiere del relevamiento de la totalidad del área mediante técnicas extensivas y costosas, como puede ser la tecnología LiDAR. En última instancia, la combinación de estas dos aproximaciones ha permitido profundizar en el estudio de los sectores urbanos, logrando ajustar y validar argumentos para el direccionamiento de las estrategias energéticas.

En cuanto a los resultados obtenidos, en el caso del sector más consolidado (AH1), la gran cantidad de viviendas de alquiler dificulta la implementación de los diversos sistemas, infiriendo desinterés por parte de los propietarios en realizar mejoras, requiriendo en consecuencia focalizar los esfuerzos en regular la calidad constructiva, el diseño e inclusión de sistemas solares en las futuras edificaciones; en cuanto a los sectores de consolidación media (AH2 y AH3), cuentan con condiciones propicias para la adopción de sistemas renovables, sin embargo la condición de propietarios o los niveles de NBI requieren especial atención a la hora del diseño de las políticas a implementar;

mientras que en sectores periféricos de baja consolidación (AH4 y AH5) existe un importante potencial para la difusión de la energía solar, siendo las condiciones de NBI e ingresos las variables que pueden colaborar en la identificación de las medidas a implementar. En relación a ello, el AH4 sería propicio para la difusión de incentivos, mientras que el AH5 requiere de una intervención más directa tanto en materia de energía solar como en el mejoramiento de la calidad constructiva de la edificación existente.

A partir de la descripción elaborada previamente, es posible reafirmar que no es viable proyectar políticas energéticas genéricas para que sean aplicadas a escala urbana, sino que se requiere de un anclaje territorial que permita diagnósticos específicos útiles para identificar las heterogeneidades que presentan las ciudades.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amado, M., Poggi, F., Amado, A., 2016. Energy efficient city: a model for urban planning, *Sustainable Cities and Society*, vol. 26, pp. 476–485.
- Brito, M., Freitas, S., Guimarães, S., Catita, C., Redweik, P., 2017. The importance of facades for the solar PV potential of a Mediterranean city using LiDAR data, *Renewable Energy*, vol. 111, pp. 85-94.
- Chávez, P., Barbero, D., Martini, I., Discoli, C., 2016. Análisis de áreas homogéneas de consumo eléctrico residencial. Identificación de la incidencia de variables sociodemográficas y grados de consolidación. *AVERMA*, 20, pp. 1-12
- Compagnon, C., 2004. Solar and daylight availability in the urban fabric, *Energy and Buildings*, vol. 36, pp. 321–328.
- Eicker, U., Nouvel, R., Duminil, E., Coors, V., 2014. Assessing passive and active solar energy resources in cities using 3D city models -2013 ISES Solar World Congress- *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 896 – 905.
- Gadsden, S., Rylatt, M., Lomas, K., Robinson, D., 2003. Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS, *Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 37–48.
- IEA, 2015. Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas, International Energy Agency.
- INDEC, 2016. Base de datos REDATAM SP del Censo nacional 2010, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- IRAM, 2001. Norma 11604. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción, Instituto Argentino de Normalización.
- Martini, I., 2013. Construcción de escenarios urbanos a partir de un diagnóstico energético-ambiental, PICT 2012-2172. Directora: Dra. Irene Martini.
- Mesa, A., de Rosa, C., Cortegoso, J., 1999. Modelo gráfico computacional para la determinación del área de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol 4.
- MINEM, 2017. Balance Energético Nacional 2014, Ministerio de Energía y Minería.
- Morosi, J., 1999. Ciudad de La Plata: Tres décadas de reflexiones acerca de un singular espacio urbano, LINTA-CIC.
- POLIS (2012). Identification and mobilization of solar Potentials via local strategies (POLIS), *Intelligent Energy Europe*.
- Viegas, G., Chávez, P., Discoli, C., San Juan, G., 2017. Comportamiento energético de mosaicos urbanos representativos de la ciudad de La Plata en función de las condiciones térmicas externas -Actas ENCAC-ELAC-.
- Viegas, G., (2010). Evaluación del potencial energético e intervenciones de mejoramiento del entorno edilicio en áreas urbanas de media y baja consolidación. Tesis doctoral de la Universidad Nacional de Salta. Salta.
- Wegertseeder, P., Lund, P., Mikkola, J., García Alvarado, P., 2016. Combining solar resource mapping and energy system integration methods for realistic valuation of urban solar energy potential, *Solar Energy*, 135, pp. 325-336

ANALYSIS OF THE SOLAR POTENTIAL OF DIFFERENT SECTORS OF THE CITY USING REPRESENTATIVE URBAN MOSAICS AND SOCIO-DEMOGRAPHIC INFORMATION

Abstract. *An analysis of the potential incorporation of solar systems in different city sectors is exposed. The study is performed using urban mosaics and socio-demographic information for the purposes of identifying opportunities and barriers that each sector presents for the implementation of solar technologies and generating tools that contribute to energy planning. To address the research, La Plata city, Buenos Aires (Argentina), was used as a case study.*

The methodology, firstly, subdivides the city into five urban-energetic homogeneous areas, using the k-means clustering technique. Hence, each census radii that shapes the study area is grouped according to their affinity with respect to energetic and socio-demographic variables. These homogeneous areas, in turn, are characterized with census information allowing having a more detailed knowledge of their conformation and performance, whose are related to urban consolidation levels. Second, a representative urban mosaic is selected for each of the homogeneous area and its morphological and thermal-physical information is relieved. Thirdly, from the survey of the homogeneous areas and mosaics, the sectors are identified with greater feasibility for the inclusion of solar systems, taking into accounts the physical aspects and socio-demographic constraints. Passive systems in walls are implemented as application.

The main results indicate that the most consolidated area is less conducive to the inclusion of solar systems, mainly for the large quantity of non-owners of households, so future constructions-oriented policies are fundamental. Moreover, in sectors with middle consolidation, the potential is high, as well as in sectors of low consolidation; however in this sector the UBN (unsatisfied basic needs) conditions should be considered for a proper addressing of the measures.

Keywords: *Solar energy, Urban Mosaics, Socio-demographic aspects.*