

ANÁLISIS DE ÁREAS HOMOGÉNEAS DE CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL. IDENTIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE VARIABLES SOCIO-DEMOGRÁFICAS Y GRADOS DE CONSOLIDACIÓN.

P. Chévez¹, D. Barbero², I. Martini³, C. Discoli⁴

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Grupo asociado INENCO.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires

Tel. 0221-4236587/90 int. 250.e-mail: chevezpedro@gmail.com, dantebarbero@yahoo.com.ar,

irenemartini@conicet.gov.ar, discoli@rocketmail.com

Recibido 12/08/16, aceptado 11/10/16

RESUMEN: Se plantea en este trabajo una metodología para la detección y análisis de áreas homogéneas de consumo eléctrico residencial en la ciudad de La Plata mediante un método de clustering. Esto permitirá identificar en el territorio las principales variables sociodemográficas y su relación con los diferentes grados de consolidación residencial urbana, los cuales configuran la demanda de energía eléctrica. El método de clasificación propuesto se convierte en un mecanismo plausible de aplicar en la construcción de escenarios energéticos urbanos, más precisamente en la instancia inicial de determinar grupos de viviendas con características energéticas, grado de consolidación residencial urbana y variables sociodemográficas homogéneas, que son necesarios para la construcción de lo que se denomina el “Año base”. Los resultados obtenidos en el presente trabajo, nos permitirán ensayar medidas de ahorro energético específicas para cada área, considerando los principales aspectos sociodemográficos y las distintas consolidaciones residenciales urbanas detectadas.

Palabras clave: clusters, demanda energética, sector residencial, consumo eléctrico.

INTRODUCCIÓN

El sector residencial tiene fuerte incidencia en la demanda de energía total de la República Argentina. Para el año 2014, el requerimiento energético de este sector tuvo una participación del 25,7% en la matriz nacional (Ministerio de Energía, 2015). Esto indica que trabajar en el mejoramiento de la eficiencia energética de este sector posibilitaría alcanzar disminuciones considerables en la demanda nacional y en consecuencia permitiría reducir importaciones de recursos energéticos.

A partir de la detección de esta problemática es que el equipo de trabajo del Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC, FAU, UNLP) ha abordado diversos trabajos de investigación desde la década del ochenta hasta la actualidad. A su vez, el trabajo aquí presentado contribuye directamente a proyectos de investigación que se están desarrollando en la actualidad (Martini, 2012; 2013 y Discoli, 2012). Los mismos tienen como objetivo reconocer los comportamientos de uso de los recursos energéticos del sector residencial y el sector transporte en el área de estudio a los efectos de analizar posibles escenarios futuros con el objeto de, en primer lugar, diseñar y evaluar distintas estrategias relacionadas a los consumos energéticos residenciales y de transporte; y en segundo lugar, ensayar hipótesis sobre diversas combinaciones de estrategias

¹ Becario Interno doctoral CONICET.

² Investigador Adjunto CONICET.

³ Investigadora Adjunta CONICET.

⁴ Investigador Independiente CONICET.

analizando sus implicancias, efectos e impactos en el marco de diversos escenarios de crecimiento urbano con el objetivo de mejorar las condiciones de habitabilidad y reducir la demanda energética. Los resultados esperados de estos proyectos se orientan a concientizar a la gestión pública para internalizar instrumentos, métodos y acciones propuestas; apoyar los procesos de toma de decisiones, la planificación y la gestión de la sustentabilidad local y mejorar la interacción entre investigadores y decisores urbanos mediante plataformas de comunicación adecuadas.

Asimismo, el presente trabajo contribuye a la tesis doctoral de uno de los autores (Chávez, 2013), que tiene como objetivo la construcción de escenarios del sector residencial a partir de la implementación de medidas de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial, tomando como caso de estudio a la ciudad de La Plata. La construcción de dichos escenarios energéticos urbanos se abordan en tres etapas:

(i) En primera instancia se requiere de la construcción del “Año Base”, el cual releva y sistematiza las variables energéticas y sociodemográficas del sector residencial en el sector bajo análisis según sectores homogéneos que consideran tanto variables socio-demográficas como su grado de consolidación residencial urbana (GCU). En esta instancia es donde el presente trabajo contribuirá a la tesis doctoral y a los proyectos de investigación aludidos previamente, ya que los clusters brindan una clasificación en grupos cuyos elementos congregan cierta homogeneidad en sus diferentes variables. Esto posibilitará en trabajos posteriores la elaboración del “Año base” y avanzar en la construcción de los escenarios energéticos urbanos en donde se analicen distintas medidas de eficiencia energética a largo plazo.

(ii) Una vez obtenido el “Año Base”, el siguiente paso consiste en la elaboración de escenarios alternativos mediante la aplicación del Software LEAP y el Modelo de simulación TRANUS, que es un sistema integral que analiza variables relacionadas a usos del suelo, energía y transporte. Este software permite modelar ciudades o regiones, estimar la localización futura de las actividades, consumos y transporte. Los escenarios podrán ser “Tendenciales”, donde se mantengan las principales directrices observadas, o “de Políticas” donde se ensayen estrategias y lineamientos de eficiencia energética, así como la implementación de energías no convencionales por vías de sustitución o complementación. Para ello es necesario estudiar y analizar el estado del arte de las medidas de eficiencia energética aplicadas y posibles de aplicar en el área de estudio.

(iii) Finalmente se plantea la evaluación de los resultados y la comparación entre los distintos escenarios construidos, para luego obtener conclusiones y reformular políticas.

En síntesis, bajo el contexto referido previamente, este trabajo pretende reconocer las principales variables sociodemográficas y el grado de consolidación residencial urbana que configuran la demanda de la energía eléctrica e identificar la ubicación territorial de sectores homogéneos, respecto de las variables antes mencionadas en la ciudad de La Plata. Para ello se utilizó como base información del suministro eléctrico de 2014 y se realizó una clasificación con el método de clustering denominado k-medias, cuya instrumentación se expone a continuación.

APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE CLUSTERING PARA LA DETECCIÓN DE ÁREAS HOMOGÉNEAS DE CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL.

Para la detección de áreas homogéneas, se realizó un agrupamiento usando el método de clustering denominado k-medias. Para la ejecución de la clasificación se utilizó información de consumo energético con desagregación territorial. La información contenía el promedio bimestral del consumo eléctrico residencial por usuario, por radio censal para la ciudad de La Plata, Berisso y Ensenada. Cabe aclarar que los radios censales son agrupamientos de manzanas utilizados para la organización de la recolección y procesamiento de los datos del censo. La cobertura de los radios censales utilizados en el Censo 2010 se observa en la Figura 1. Los mismos contienen información asociada a viviendas, hogares y población, a partir de la cual se obtuvieron los distintos grados de consolidación residencial urbana y se caracterizó a las áreas homogéneas.

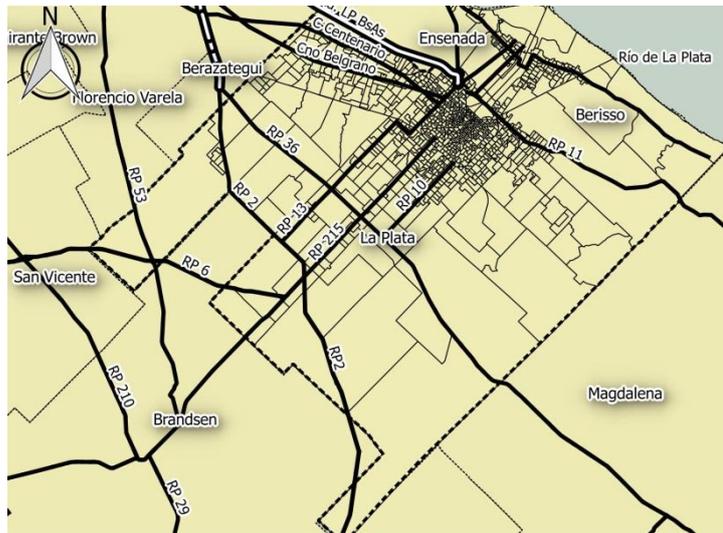


Figura 1: Radios Censales de la ciudad de La Plata utilizados en el Censo 2010.

Luego, a partir de los datos previamente mencionados se realizó un histograma de frecuencias para ordenar y obtener información acerca de las características del consumo residencial en la ciudad. El histograma se observa en la Figura 2 y para su elaboración se utilizó la media anual por usuario de cada radio censal para obtener las frecuencias. Allí se detecta que los consumos promedio de los radios censales más frecuentes oscilan entre los 2400 y 3100 kWh/año (46,73% de los casos). Asimismo, se elaboró un mapa que plasma dicha información en el territorio, el cual se observa en la Figura 3.

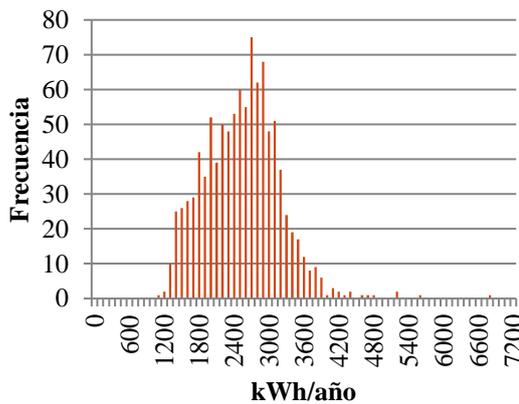


Figura 2: Histograma de consumos eléctricos residenciales anuales por radio censal.

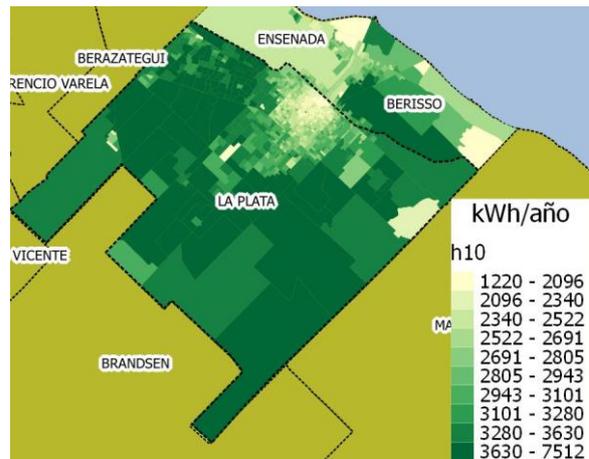


Figura 3: Media anual del consumo eléctrico residencial por radio censal. Clasificación por deciles. Escala 1:800.000

Una vez obtenida la información acerca de las características del consumo residencial en la ciudad se la clasificó mediante el método de K-medias para obtener grupos homogéneos a partir de los consumos bimestrales promedio de cada radio censal. Este algoritmo, analizado por ejemplo, en el trabajo de Maravall Gómez-Allende (1993) necesita conocer a priori el número de clases (K) a detectar. Luego, se eligen al azar del conjunto total de elementos, k objetos a clasificar. Estos elementos serán inicialmente los centroides de cada clase (habrá k clases) dado que cada clase posee inicialmente un único elemento. 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 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.

Finalmente, a partir de los datos disponibles de consumo bimestral por radio censal, se utilizó el software SPSS para obtener los clusters. Para ello se utilizó el algoritmo de K-medias con ocho clases (k=8). Dicha cantidad de clases fue la que mejor logró caracterizar el universo estudiado, puesto que con más cantidad de clusters se detectaban agrupamientos con muy pocos casos, y con menor número de clusters se encontraban agrupamientos con heterogeneidades significativas. Es decir que a cada uno de los 1.010 radios censales se los agrupó según sus patrones de consumo bimestrales y se le asignó su pertenencia a un cluster. Este agrupamiento permitió obtener un perfil de consumo para cada grupo homogéneo (cluster) y a su vez la caracterización de cada uno de ellos a partir del tratamiento de los datos censales.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN ASOCIADA A LOS CLUSTERS

Para el tratamiento de la información se utilizaron dos niveles de análisis, en primer lugar se estudiaron los clusters de manera individual. Se realizó una caracterización para cada uno de ellos a partir de una serie de variables socio-demográficas y se los representó espacialmente. Asimismo, se analizó la incidencia del grado de consolidación residencial urbana en la demanda energética y en la conformación de los diferentes clusters. Posteriormente se realizó un análisis donde se buscó describir el comportamiento de las principales variables estudiadas a través de los distintos grupos homogéneos detectados.

Clasificación y análisis individual de los clusters:

Luego de identificar a los distintos grupos homogéneos se procedió a ordenar los clusters según el consumo promedio anual, para identificar de manera sencilla los patrones que configuran la demanda, por ende se les asignó una letra de la A a la H, e igualmente se mantuvo entre paréntesis el número original obtenido en el software. La Figura 4 muestra un diagrama de caja y bigotes con los clusters obtenidos ordenados de manera ascendente con la denominación adoptada.

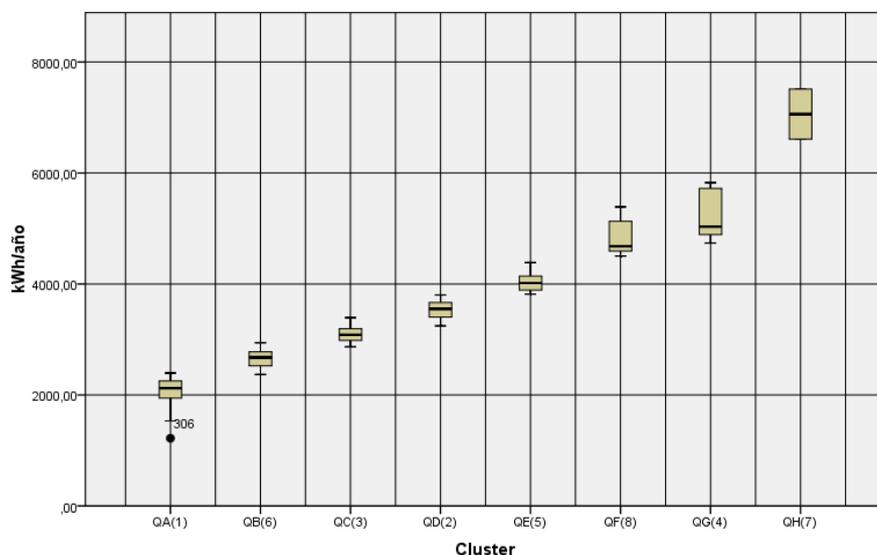


Figura 4: Gráfico de caja y bigotes de cada cluster obtenido, los mismos están ordenados de manera creciente según el consumo eléctrico anual.

Una vez clasificados los clusters se obtuvieron los perfiles promedio de consumo anual agrupados, los cuales se pueden apreciar en la Figura 5.

Consumo bimestral promedio de electricidad por cluster k-medias

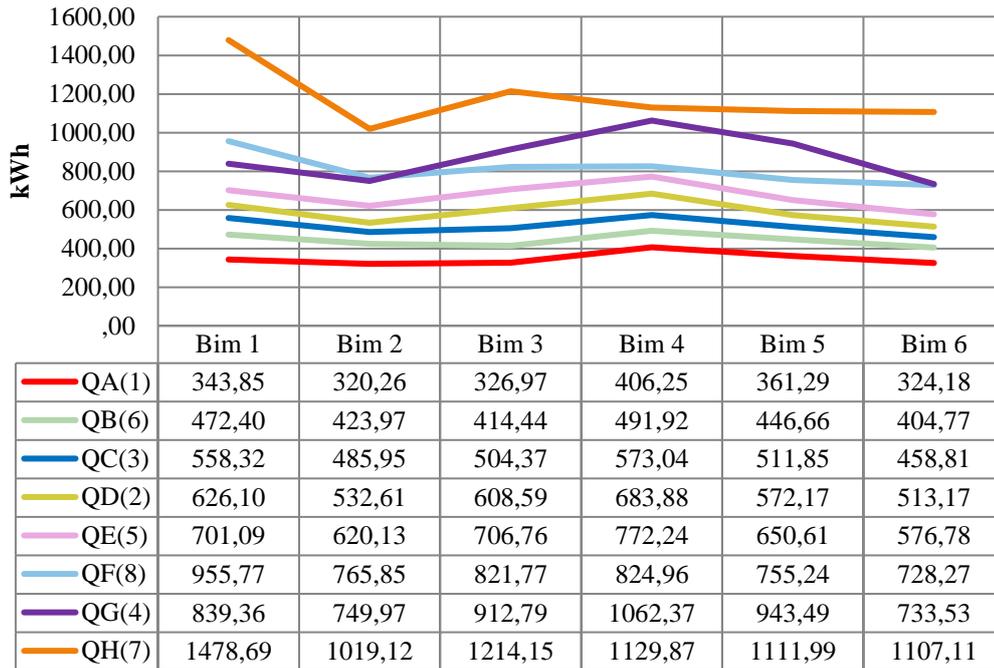


Figura 5: Perfil de consumo de energía eléctrica anual de cada cluster.

Asimismo se representaron espacialmente los datos obtenidos, es decir que a cada radio censal se le asignó el cluster obtenido y se lo plasmó en un mapa, el cual se observa en la Figura 6.

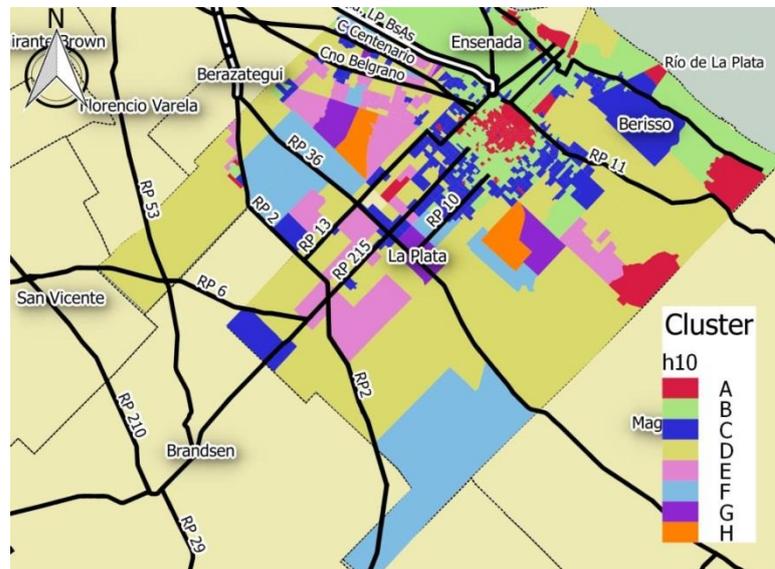


Figura 6: Identificación de los diferentes clusters en el territorio.

Analizando la ubicación territorial de los clusters en la mencionada figura, se observa que el QA(1) se sitúa en el centro del casco fundacional y representa los menores consumos anuales de electricidad. Luego el QB(6) tiene un consumo superior y rodea al QA(1). Rápidamente se puede identificar un tercer anillo que rodea al QB(6), conformado por radios censales identificados por el QC(3). Luego, los ejes noroeste y sureste presentan distintos clusters pero con mayor preponderancia de radios pertenecientes al QD(2). Luego los QG(4), QE(5), QH(7) y QF(8) presentan los consumos más altos, tienen menor presencia territorial y se ubican en zonas periféricas a la mayor aglomeración urbana. Esto permite deberse a que en algunos casos los usos residenciales se comparten con usos productivos, o zonas de asentamientos informales con conexiones comunitarias y sectores de urbanizaciones cerradas de alto poder adquisitivo que presentan altos consumos energéticos.

Además de ordenarse los clusters de manera ascendente, se incorporaron los datos sociodemográficos obtenidos del censo y su grado de consolidación residencial urbana, para luego realizar la descripción individual de cada uno de ellos.

Para definir el área consolidada residencial urbana se adoptó la metodología presentada en Brea et al. (2014), en la cual se consideró el ámbito servido de al menos una red de infraestructura y cuyo uso del suelo predominante es la «habitación» permanente (viviendas unifamiliares y multifamiliares de carácter «consolidado», es decir que presentan materiales firmes, fuertes, durables en el tiempo y que se encuentran afincadas con solidez en una trama urbana). Para evaluar la graduación de las áreas consolidadas, se analiza la intensidad de ocupación del territorio a partir de calcular la densidad poblacional y edilicia, y teniendo en cuenta la cantidad de redes de servicios que se disponen en el mismo. Se adopta una clasificación en: Consolidación Baja, Media y Alta. En este contexto, las variables que definen la consolidación son las siguientes:

- i. Servicios básicos de Infraestructura –SBI–: se construye a partir de los indicadores de cobertura de las distintas redes de servicios urbanos de infraestructura (energía eléctrica, gas por red, cloacas y agua potable). Indistintamente de cuál de ellos se halle en el territorio, se valoriza la cobertura como baja (una sola red de servicios), media (dos redes de servicios) y alta (tres o más redes de servicios). Se considera la existencia de red cuando más de un 80% de los hogares cuentan con dicho servicio.
- ii. Ocupación del suelo –OS–: se mide a partir de la densidad urbana, es decir la cantidad de viviendas por unidad de superficie (viviendas/hectáreas) en tres valores: baja (< 10,4 Viv/Ha), media (10,4 a 21,3Viv/Ha) y alta (más de 21,32 Viv/Ha)
- iii. Ocupación poblacional –OP–: desagregada a partir de la densidad de población, habitantes por unidad de superficie (habitantes/hectárea), también definida en tres valores: baja, media y alta, que se corresponden con los rangos de densidad edilicia. Para la determinación de los rangos se adoptan los rangos de densidad habitacional multiplicado por un promedio de cuatro habitantes por hogar.

Los rangos expuestos se territorializan en la Figura 7 y se sintetizan en la Tabla y 1.

Variables que definen la consolidación residencial urbana	Niveles de valoración		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Servicios Básicos de Infraestructura y Saneamiento (N° de redes)	3 redes o más	2 redes	1 red
Ocupación Poblacional. Densidad de población (Hab/Ha)	> 85	41 a 85	< 41
Ocupación del suelo. Densidad edificada (Viv/Ha)	> 21,32	10,4 a 21,32	< 10,4

Tabla 1 y Figura 7: Rangos utilizados para la determinación del grado de consolidación urbana y mapa de la ciudad de La Plata con los resultados obtenidos.

A continuación, en la Tabla 2, se aprecian los clusters ordenados de menor a mayor en cuanto al consumo eléctrico anual medio y las variables y valores obtenidos del censo. Posteriormente, se realiza una caracterización de los clusters con la información censal y su grado de consolidación residencial urbana:

Cluster	Habitaciones / Hog	Pers / Hog	NBI [%]	Cobertura de Gas de Red [%]	Casas [%]	Dtos. [%]	Rancho casilleros [%]	Viv. Satis [%]	Viv. Básica [%]	Viv. Insatis [%]	Consumo promedio anual [kWh/año]
QA(1)	3,05	2,12	2,85	96,18	28,72	69,90	1,37	91,49	6,36	2,15	2082,81
QB(6)	3,44	2,69	3,96	88,95	67,35	29,65	3,01	85,77	9,26	4,96	2654,16
QC(3)	3,27	3,26	10,65	68,70	85,29	6,92	7,79	67,03	19,54	13,43	3092,35
QD(2)	3,33	3,42	14,87	51,55	87,23	1,49	11,28	58,58	21,46	19,96	3536,51
QE(5)	3,51	3,36	11,93	49,81	89,46	0,84	9,70	60,41	19,75	19,84	4027,62
QF(8)	3,61	3,52	18,69	42,98	83,82	0,41	15,77	54,70	19,83	25,47	4851,87
QG(4)	3,21	3,62	21,66	9,32	81,68	1,16	17,17	46,58	18,43	35,00	5241,51
QH(7)	3,99	3,44	21,23	40,12	86,92	0,25	12,84	52,17	9,70	38,14	7060,92

Tabla 2: Datos censales para cada uno de los clusters obtenidos. Fuente: elaboración propia en base a INDEC (2015).

El cluster **QA(1)** presenta una preponderancia de viviendas del tipo departamentos (69,9%) lo cual genera que el promedio de personas por hogar sea bajo (2,12) al igual que la cantidad de habitaciones por hogar (3,05). Los niveles de NBI son los más bajos (2,12%) y la presencia del gas de red es la más alta. Las condiciones constructivas de las viviendas son las de mejor calidad, (91,49%), la alta presencia de gas de red supone un uso menor de energía eléctrica para climatización en invierno con lo cual el consumo eléctrico anual por usuario es el más bajo (2082,80 kWh/año).

En cambio, en el cluster **QB(6)** la tipología casa tiene una mayor presencia, (67,34%), la conformación de los hogares es de 2,69 personas y de 3,44 habitaciones. Los niveles de NBI en estos radios son bajos (3,96%) y la presencia de gas de red alcanza una cobertura del 88,94%. La calidad constructiva de las viviendas es un 85,77% satisfactoria. Este grupo presenta el segundo menor consumo eléctrico dado que se encuentran hogares pequeños en términos de superficie y de cantidad de personas, una buena cobertura de gas de red y una alta proporción de viviendas de buena calidad constructiva. Nuevamente la alta cobertura de viviendas con gas natural sustituye consumos eléctricos en invierno lo cual redundará en consumos globales bajos (2654,15 kWh).

Por otro lado, el **QC(3)** presenta una gran mayoría de casas (85,29%). El tamaño de los hogares comienza a ser creciente, con 3,26 personas por hogar y 3,26 habitaciones por hogar. Los niveles de NBI se acrecientan y alcanzan un 10,64%, mientras que la distribución de gas de red se reduce y alcanza un 68,7%. En tanto, la calidad constructiva en general es buena.

En el caso del **QD(2)** este presenta un consumo intermedio y está conformado principalmente por casas (87,23%). Está caracterizado por un número alto de personas por hogar (3,42), se caracteriza por contar con niveles de NBI que se incrementan respecto del QC(3) y alcanzan un 14,87%, mientras que la distribución de gas de red alcanza a un 51,55% de los hogares, lo cual comienza a incrementar los consumos eléctricos anuales. La calidad constructiva de las viviendas comienza a ser despareja, y se encuentran un 58,58% de viviendas satisfactorias.

Si analizamos el **QE(5)**, este alcanza consumos que pueden considerarse elevados para la media de la ciudad, esto puede explicarse por diversos motivos. En principio hay una alta cantidad de personas promedio por hogar (3,36), los niveles de NBI se tornan similares a los del QC(3) y alcanzan a un 11,93% de los hogares, mientras que el gas de red sirve únicamente al 49,81% de los hogares. Asimismo, las tipologías detectadas responden en un 89,46% a casas y la calidad de las construcciones es un 60,41% satisfactoria. La ubicación territorial de este grupo se da principalmente en el eje noroeste y en puntos periféricos alejados del casco fundacional.

El **QF(8)** cuenta con una media de 3,52 personas por hogar, altos niveles de NBI (18,69%), una cobertura de gas de red del 42,98% lo cual eleva los promedios de consumo eléctrico, una participación de viviendas del tipo rancho/casilla del 15,77%, mientras que las casas alcanzan un 83,82%. Los niveles de calidad constructiva descienden y se encuentra que un 25,47% de las viviendas son de calidad insatisfactoria siendo la ubicación principalmente rural.

Finalmente, el **QG(4)** tiene el mayor número de personas por hogar (3,62), los mayores niveles de NBI (21,66%), la menor cobertura de red de gas (9,32%), la mayor cantidad de presencia de ranchos/casillas (17,17%) y la menor cantidad de viviendas satisfactorias (46,58%). Estas características hacen que estos radios censales sean los más vulnerables y que a su vez tengan el segundo mayor consumo de la ciudad que se detectó en este estudio (5241,51 kWh/año). Si se observa la Figura 5, se puede notar que la curva eléctrica anual de este cluster tiene un consumo muy superior en los meses de invierno respecto del resto del año, lo cual puede vincularse directamente a la baja presencia del gas natural.

Por último, el **QH(7)** es el cluster de mayor consumo, presenta unas 3,44 personas por hogar, altos niveles de NBI (21,23%), una cobertura de gas de red del 40,12%, una alta participación de ranchos/casillas (12,84%) y una leve mejoría en términos de niveles constructivos respecto del cluster anterior con un 52,17% de viviendas satisfactorias. Es notorio que dentro de estos radios censales se detectan viviendas de alto y bajo poder adquisitivo que hacen incrementar la demanda energética anual y se alcanzan valores muy elevados que rondan los 7060,92 kWh/año. Esto se corresponde con la realidad, puesto que los radios censales pertenecientes a este cluster contienen urbanizaciones cerradas de alto poder adquisitivo y altos consumos energéticos y a su vez se encuentran zonas de bajos ingresos donde se detectan conexiones informales. Por su parte, la curva de demanda eléctrica anual (Figura 5) denota consumos elevados en los meses de verano, con lo cual se pueden asociar a usos masivos de acondicionadores de aire, bombas de piletas, entre otros. Asimismo, se trata de sectores de baja consolidación con lo cual se pueden inferir viviendas de mayor superficie con mayores consumos.

Por su parte, una vez obtenida la caracterización de cada radio censal en función de su grado de consolidación, se analizó su correspondencia con los agrupamientos obtenidos a partir del método de k-medias. Dicho análisis puede apreciarse en la Tabla 3, donde para cada cluster obtenido, se cuantifican los radios censales de consolidación alta, media y baja y se señala el grado de consolidación con mayor frecuencia de aparición. Esto arrojó resultados consistentes y congruentes con las variables sociodemográficas analizadas previamente. Por ejemplo, en el caso del cluster QA(1), tal como se describió previamente es el cluster de mayor densidad habitacional y poblacional, que cuenta con los mayores niveles de viviendas con gas de red, menores niveles de nbi, entre otras variables, resultó que mayormente sus radios censales responden a un grado de consolidación alta, lo que se corresponde con los menores consumos de energía. Luego, los clusters que responden a un grado de consolidación media son el QB(6) y QC(3) los cuales fueron descriptos y ubicados rodeando el QA(1), los cuales presentan niveles de consumo intermedios debido a sus condiciones socio-demográficas, edilicias, etc. Finalmente los restantes clusters son preponderantemente de consolidación baja. Este ordenamiento indica que la demanda energética está fuertemente ligada con el GCU, y se puede apreciar que a medida que la consolidación es menor, el consumo energético promedio se incrementa.

Cluster	Cons. Alta	%	Cons. Media	%	Cons. Baja	%	Radio
A	132	60,6	66	30,28	20	9,17	218
B	34	9,8	274	79,19	38	10,98	346
C	6	2,3	190	72,24	67	25,48	263
D	0	0,0	29	23,39	95	76,61	124
E	0	0,0	3	7,50	37	92,50	40
F	0	0,0	0	0,00	9	100,00	9
G	0	0,0	0	0,00	5	100,00	5
H	0	0,0	0	0,00	2	100,00	2

Tabla 3: Cuantificación de radios censales según su grado de consolidación urbana.

A continuación se plantea un análisis transversal de las variables utilizadas y su comportamiento individual en los distintos clusters.

Análisis transversal de las variables involucradas

En esta sección se presenta un análisis donde se buscó describir el comportamiento de las principales características sociodemográficas adoptadas y el grado de consolidación residencial urbana a través de los grupos homogéneos detectados.

En primera instancia se calculó la cantidad de personas promedio por hogar para cada cluster con datos del Censo 2010 (Figura 7). Se observó que a medida que el promedio de habitantes por hogar crece la demanda de energía eléctrica en general es mayor, hasta que encuentra niveles de saturación por la utilización de equipos de manera simultánea por varias personas en un mismo espacio. A su vez, se realizó un gráfico de dispersión entre las personas por hogar de cada cluster y su consumo eléctrico, y luego se trazó una línea de tendencia exponencial que fue la que mejor ajuste arrojó ($R^2=0,69$), esto se observa en la Figura 8.

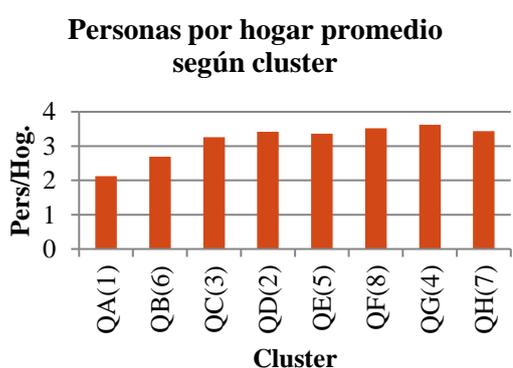


Figura 7: Promedio de personas por hogar para cada cluster.

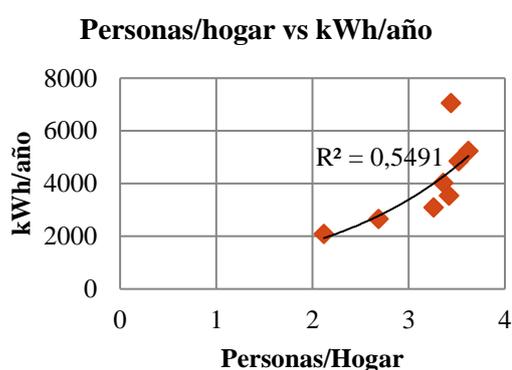


Figura 8: Gráfico de dispersión de personas por hogar y kWh/año de los clusters.

Luego, se analizaron las tipologías de vivienda (INDEC, 2015) que configuran a cada uno de los clusters, lo cual se puede observar en la Figura 9. Allí se puede ver que los clusters QA(1), QB(6) y QC(3), que son aquellos que representan los menores consumos, poseen la mayor cantidad de la tipología “departamentos”. A su vez, su presencia disminuye a medida que se analizan los clusters de manera ascendente. En consecuencia, la tipología “casa” incrementa su participación a medida que se avanza a través de los clusters. Por su parte las viviendas del tipo “rancho/casilla” tienen baja participación, pero tienden a tener mayor presencia en los clusters de consumos elevados. Esto puede representar, por un lado, la fuerte orientación de los usuarios de estas tipologías hacia la electricidad debido a la falta de gas de red, lo cual se analiza más adelante, y a su vez se puede tratar de usuarios con una alta cantidad de personas en el hogar e incluso de varios hogares conectados a un único suministro de manera informal. De todas maneras cabe destacar que a pesar de que las tipologías “rancho/casilla” tengan participación en clusters de altos consumos, no significa que sus consumos sean elevados, ni que sean cercanos al promedio del cluster. En la Figura 4 se observan en el diagrama de caja y bigotes que la amplitud que tienen las muestras de los clusters de mayor demanda es superior a la de los clusters de consumos más reducidos.

Por su parte se indagó acerca de la calidad constructiva de las viviendas, y se encontró que en los clusters de menor consumo anual, las viviendas son principalmente satisfactorias y a medida que se analizan clusters de mayores demandas se observa que la cantidad de viviendas de calidad básica e insatisfactoria se va incrementando, lo cual genera grandes pérdidas energéticas en climatización y en consecuencia inciden en los consumos de calefacción eléctrica, además de que son clusters de altos promedios de personas por hogar. En las Figuras 9 y 10 se observan las tipologías y calidades constructivas a través de los diferentes clusters.

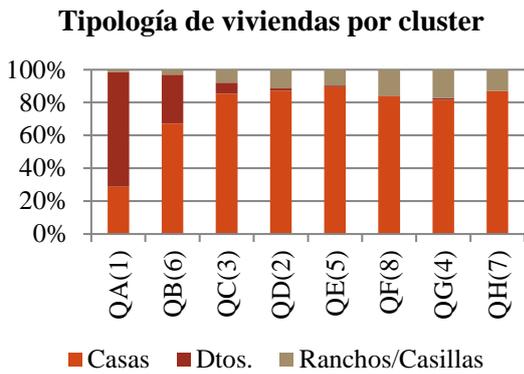


Figura 9: Proporción de tipologías de viviendas en cada cluster.

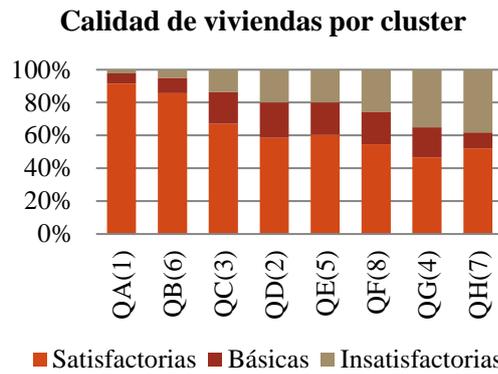


Figura 10: Proporción de la calidad de las viviendas detectadas en cada cluster.

En tanto, se aprecia que a medida que analizamos clusters con mayor demanda eléctrica, la proporción de viviendas con gas de red se reduce. Por ende, se ratifica que aquellas viviendas que no cuentan con tal suministro, deben recurrir a la energía eléctrica para usos tales como el calentamiento de agua, cocción y calefacción. Por su parte, en los radios censales de consumos más elevados se detectan los mayores niveles del indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas, con lo cual, se encuentra que los consumos eléctricos resultan ineficientes o que sustituyen la falta de red de gas. Estos aspectos se analizan en la Figura 11.

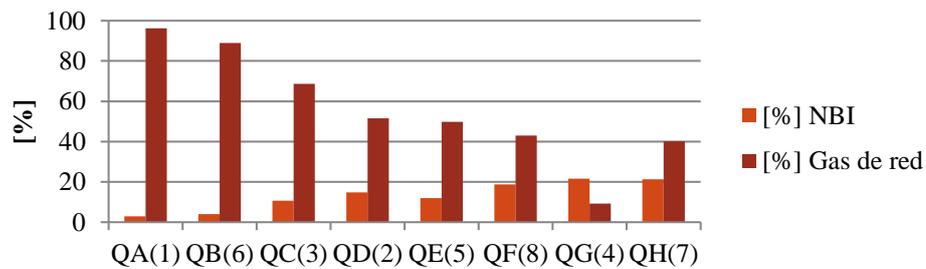


Figura 11: Porcentaje de viviendas con Necesidades Básicas Insatisfechas y porcentaje de viviendas con conexión a gas de red en cada uno de los clusters.

Asimismo, se ejecutaron análisis para detectar relaciones entre los aspectos mencionados previamente. Por lo tanto realizaron gráficos de dispersión y se trazaron líneas de tendencias. Se obtuvo un $R^2=0,73$ para la proporción de viviendas con gas de red y la demanda anual de electricidad a través de una ecuación exponencial (Figura 12). Mientras que para el cruce de la proporción de viviendas con NBI y la demanda anual de electricidad, se encontró un $R^2=0,84$ con una ecuación polinómica (Figura 13). Si bien no son relaciones absolutamente fuertes, indican tendencias a considerar.

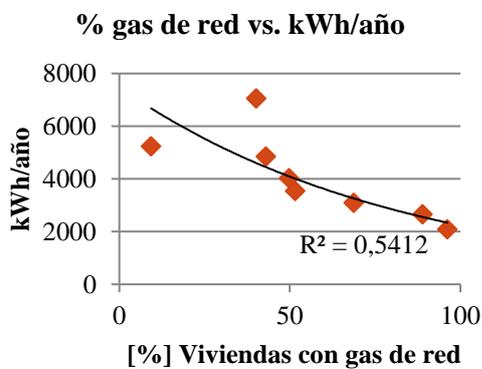


Figura 12: Gráfico de dispersión de porcentaje de viviendas con gas de red y kWh/año de los clusters.

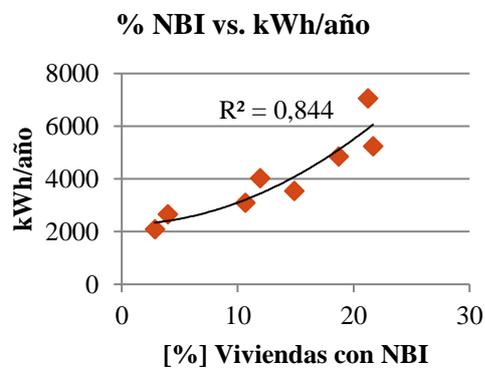


Figura 13: Gráfico de dispersión de porcentaje de viviendas con NBI y kWh/año de los clusters.

En cuanto a los grados de consolidación residencial urbana, se puede inferir que los mayores consumos de energía eléctrica se dan en las áreas de consolidación baja. Esto ratifica que por ejemplo la falta de servicios tales como gas natural de red o agua potable incrementan los usos eléctricos, asimismo la baja densidad de viviendas ocasiona mayores superficies construidas, lo cual incrementa la cantidad de personas promedio por hogar y el equipamiento, entre otros aspectos. En contraposición los sectores de alta consolidación resultaron coincidentes con los clusters de menor consumo eléctrico promedio por usuario. Las mismas variables explican dicho comportamiento, dado que la alta densidad genera viviendas de reducidas dimensiones con un bajo promedio de personas por hogar y una compacidad edilicia que probablemente reduce las pérdidas de calor a través de las superficies expuestas, entre otros aspectos.

Asimismo, se evaluó en la Figura 14 la caracterización de los radios censales según: cuatro rangos de personas por hogar, tres rangos de consumo eléctrico y según los tres niveles de consolidación obtenidos previamente. En los sectores de consolidación alta, los radios censales de menor demanda energética (<2100 kWh/año) principalmente presentan una media de entre 1-2 y 2-3 Pers/hogar. Luego, el consumo intermedio (entre 2100 kWh/año y 4200 kWh/año) mayormente está cubierto por radios con una media de entre 2-3 Pers/hogar. Mientras que no hay radios censales que consuman más de 4200 kWh/año. En los sectores de consolidación media, los radios de menor demanda también presentan entre 1-2 y 2-3 Pers/hogar, mientras que los radios de consumo intermedio principalmente son radios con una media de personas por hogar entre 2-3 y 3-4 Pers/hogar, en estos sectores de consolidación media tampoco se encuentran radios con demandas superiores a los 4200 kWh/año. Luego, los sectores de consolidación baja comienzan a presentar una media de personas por hogar más alta y se encuentran consumos de los tres rangos adoptados.

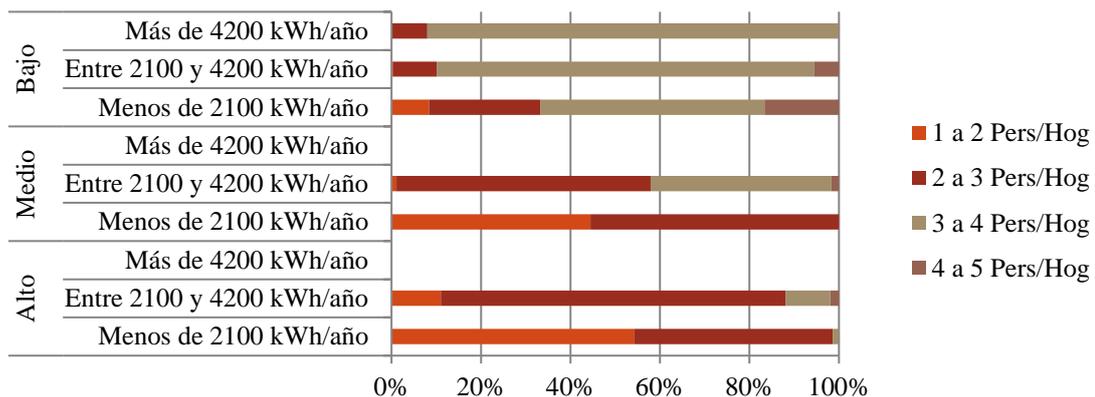


Figura 14: Frecuencia de aparición de personas por hogar en los hogares según su consumo eléctrico anual su grado de consolidación.

Por lo tanto, a partir del análisis de la información relevada, es posible inferir que en los clusters de mayor demanda energética se combinan cuestiones tales como mayor cantidad de habitantes por hogar, mayor presencia de viviendas del tipo “casa”, pero también cierta proporción de viviendas tipo “rancho/casilla” y a la vez se encuentra una alta cantidad de viviendas básicas e insatisfactorias. También en los clusters de altos consumos se encuentran menores proporciones de viviendas conectadas a la red de gas, y tal como se mencionó, desvían los consumos hacia la energía eléctrica. En tanto, los mayores niveles de NBI no significan que se detecten sobreconsumos, sino por el contrario probablemente se trate de hogares que no estén en condiciones de confort. Al mismo tiempo, puede ocurrir que haya más cantidad de hogares en las viviendas, lo cual incrementa los consumos. Todos estos aspectos determinan que el grado de consolidación de dichas áreas sea bajo y en consecuencia se corresponda con el comportamiento de los patrones energéticos detectados.

CONCLUSIONES

El trabajo permitió detectar ocho áreas homogéneas de consumo eléctrico residencial con su correspondiente localización espacial y con su demanda energética característica. Asimismo, a partir del análisis de cluster realizado, se logró un mayor entendimiento de la lógica de consumo en función de la ubicación territorial, de las variables sociodemográficas asociadas a partir de información complementaria y de los grados de consolidación urbana. En consecuencia, se logró caracterizar a cada área homogénea con el consumo eléctrico bimestral, la cantidad de personas por hogar, la cantidad de habitaciones por hogar, niveles de calidad constructiva de las viviendas, tipologías de vivienda, niveles de NBI y porcentaje de cobertura de gas de red y su GCU. También fue posible un análisis transversal de las variables sociodemográficas, y se encontraron tendencias claras de comportamientos de las mismas según los consumos energéticos se incrementaban o disminuían.

Por otra parte, será viable en trabajos futuros ahondar en la caracterización de las áreas homogéneas, mediante la descripción del consumo de energía según usos, los cuales pueden obtenerse a partir de encuestas individuales. Por su parte, con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se podrán ensayar medidas de ahorro energético específicas para cada área considerando los principales aspectos sociodemográficos detectados. A su vez, éstas podrán ser analizadas territorialmente e integrarse con otras variables, lo cual brindaría un abordaje más completo de las problemáticas energéticas.

REFERENCIAS

- Brea, B., Martini, I., Ferreyro, C. y Discoli, C. (2014). Diagnóstico energético del sector residencial de La Plata. Interacción de variables energéticas y sociodemográficas. Estudios del hábitat N° 12. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.
- Chévez, P. (2013). Construcción de escenarios urbanos-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia en el marco de la oferta y la demanda del sector residencial. Plan de trabajos de Tesis doctoral Universidad Nacional de Salta, La Plata.
- Discoli (2012). 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. Proyecto de investigación CONICET PIP-097, La Plata.
- Gouveia, J. y Seixas, J. (2016). Unraveling electricity consumption profiles in households through clusters: Combining smart meters and door-to-door surveys. *Energy and Buildings* (116), 666–676.
- INDEC (2015). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Censo del Bicentenario. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Buenos Aires.
- Maravall Gómez–Allende, D. (1993). Reconocimiento de Formas y Visión Artificial. Addison-Wesley Iberoamericana. RA-MA.
- Martini, I. (2012). Construcción de escenarios urbanos a partir de un diagnóstico energético-ambiental. Proyecto de investigación PICT 2012-2172, La Plata.
- Martini, I. (2013). Construcción de escenarios urbanos orientados al mejoramiento energético de los sectores residencial y transporte. Proyecto de investigación UNLP 2014-2017, La Plata.
- Ministerio de Energía (2015). Balance Energético Nacional 2014. Ministerio de Energía, Buenos Aires.

ABSTRACT

This paper proposes a methodology to detect homogeneous areas of residential electricity consumption in La Plata city, Argentina from a clustering method. This will allow recognizing the main socio-demographic variables in relation to its urban residential consolidation degree, which configure the electricity demand with the possibility to identify the geographical location of these areas. This classification method becomes a plausible mechanism to apply in the construction of urban energy scenarios, more precisely to determinate housing groups with homogeneous socio-demographic and energy characteristics, which are necessary for the development of the “base year”. The results obtained in this study will allow us to test specific energy saving measures for each area, taking into account the main socio-demographic aspects and different urban residential consolidations detected.

Keywords: clusters, energy consumption, residential sector, electric consumption.