Lurralde : invest. espac.	44	2021	p: 123-162	ISSN 0211-5891	ISSN 1697-3070 (e)

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS URBANO-ENERGÉTICOS "TENDENCIALES" EN CIUDADES INTERMEDIAS.

LA CIUDAD DE LA PLATA COMO CASO DE ESTUDIO –BUENOS AIRES, ARGENTINA- (2015-2040).

PEDRO CHÉVEZ
IRENE MARTINI
CARLOS DISCOLI

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (CONICET-UNLP), Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata, calle 47 nº162, CP 1900, La Plata, Buenos Aires, Argentina,
che.pedro@hotmail.com.

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo metodológico para la construcción de escenarios urbano-energéticos "tendenciales" de largo plazo en ciudades intermedias. Como aspecto original, la metodología presenta un abordaje territorial con desagregación intra-urbana, siendo un enfoque no habitual en los trabajos de prospectiva, lo que permite identificar las criticidades de la ciudad de forma precisa y localizada para analizar su comportamiento futuro por medio de escenarios "tendenciales". Esto permitirá orientar, en futuros trabajos, estrategias de mejoramiento que se contrastarán por medio de escenarios alternativos. Para su validación se utiliza a la ciudad de La Plata (Buenos Aires-Argentina) como caso de estudio, abordando la oferta y la demanda energética de forma general y el desarrollo de la metodología para el sector residencial en profundidad.

Palabras clave: escenarios, energía, urbano, energías renovables, eficiencia energética, La Plata, Buenos Aires.

Laburpena

Lan honek tarteko hirietan epe luzeko "joerazko" agertoki urbano-energetikoak eraikitzeko garapen metodologikoa aurkezten du. Jatorrizko alderdi gisa, metodologiak lurraldeari hiri

barruko desagregazio batekin heltzen dio, prospektiba-lanetan ohikoa ez den ikuspegi batetik. Horri esker, hiriaren kritikotasunak modu zehatz eta lokalizatuan identifika daitezke, etorkizuneko portaera "joerazko" agertokien bidez aztertzeko. Horrek, etorkizuneko lanetan, estrategiak bideratzeko aukera emango du, eta estrategia horiek agertoki alternatiboen bidez kontrastatuko dira. Baliozkotzeko, La Plata hiria (Buenos Aires-Argentina) erabiltzen da azterketa-kasu gisa, energia-eskaintza eta -eskaria modu orokorrean jorratuz eta bizitegi-sektorerako metodologia sakon garatuz.

Hitz gakoak: Agertokiak, energia, hiri-energia, energia berriztagarriak, energia-eraginkortasuna, La Plata, Buenos Aires.

Abstract

This work presents the methodological development for the construction of long-term "trend" urban-energy scenarios in intermediate cities. As an original aspect, the methodology presents a territorial approach with an intra-urban disaggregation, being an unusual focus in prospective studies, which allow us identifying the criticalities of the city in a precise way in order to guide concrete improvement strategies in future works through the construction of alternative scenarios. La Plata city (Buenos Aires-Argentina) was used as a study case to validate the methodology. Hence, energy supply and demand were modeled; deepening in the development of the methodology for residential sector.

Keywords: scenarios, energy, urban, renewable energy, energy efficiency, La Plata, Buenos Aires.

Résumé

Ce travail présente le développement méthodologique pour la construction de scénarios énergétiques urbains «tendance» à long terme dans les villes intermédiaires. En tant qu'aspect original, la méthodologie présente une approche territoriale avec une désagrégation intra-urbaine, étant un axe inhabituel dans les études prospectives, qui nous permettent d'identifier les criticités de la ville de manière précise afin de guider des stratégies d'amélioration concrètes dans futurs travaux à travers la construction de scénarios alternatifs. La ville de La Plata (Buenos Aires-Argentine) a été utilisée comme cas d'étude pour valider la méthodologie. Par conséquent, l'offre et la demande d'énergie ont été modélisées; approfondissement du développement de la méthodologie du secteur résidentiel.

Mots-clés: scénarios, énergie, urbain, énergies renouvelables, efficacité énergétique, La Plata, Buenos Aires.

1 Introducción

Actualmente, la mayor parte del consumo global de energía se origina en las ciudades, las cuales alojan a la mitad de la población mundial (ONU, 2014). En este contexto, el sector residencial tiene un papel relevante en la problemática energética internacional, ya que consume aproximadamente el 23% de los recursos (IEA, 2015). Por esta razón, las ciudades son las principales receptoras de los programas nacionales/provinciales de mejoramiento energético y, actualmente, una tendencia incipiente muestra que sus gobiernos también han comenzado a asumir la responsabilidad de promoverlos (Cortekar, Bender y Groth, 2016; WEC, 2016). Dichos programas principalmente apuntan a la inserción de energías renovables (ER) a escala urbana y a la adopción de medidas de eficiencia energética (EE) en edificios (nuevos y existentes), el transporte y la industria, entre otras acciones.

En este sentido, y destacando la importancia de las ciudades en cuanto a que son las principales receptoras de las políticas de mejoramiento energético, se considera esencial el desarrollo de metodologías para el abordaje de estudios urbano-energéticos prospectivos. Estos estudios permiten a los gobiernos anticipar posibles resultados de políticas y hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, que a menudo son escasos. Sin embargo, dado que a nivel mundial las ciudades son sustancialmente diferentes entre sí en términos de estructura, conformación, modelos de planificación y crecimiento, es necesario desarrollar metodologías que puedan responder a las diferentes realidades que éstas presentan. En este sentido, éstas deberán atender a las características propias de su funcionamiento interno, a su nivel de desarrollo socio-económico y al grado de avance en relación a la implementación de EE y ER, entre otros aspectos.

Por su parte, en Argentina, como en muchos otros países en desarrollo, las ciudades presentan importantes heterogeneidades dentro de su propia estructura urbana, manifestando grandes desigualdades socioeconómicas, morfológicas y de infraestructura a través de su extensión. Esta situación nos obliga a abordar el territorio de una manera particular y, por lo tanto, a desarrollar una metodología adecuada para la construcción de estudios prospectivos para nuestro contexto que considere la desagregación interna del objeto de estudio –la ciudad- con una mirada de largo plazo. En consecuencia, la utilización de una plataforma de planificación técnico-instrumental, como lo es la técnica de escenarios, permitirá gestionar las interacciones entre los principales vectores de energía (oferta) y los sectores de consumo (demanda) desde una perspectiva integrada

En relación a las investigaciones emprendidas en dicha dirección es posible identificar diversos trabajos a nivel internacional donde se evalúan trayectorias alternativas tanto tendenciales como de implementación de políticas de mejoramiento energético; pero que, sin embargo, cuentan con anclajes territoriales globales o abordan el estudio de un sector particular (viviendas, transporte, comercios, etc.). Por ejemplo, en Liu et al. (2015) se utiliza la dinámica de sistemas para construir escenarios energéticos de transporte urbano en la ciudad de Beijing, China; en Menezes, Maia y Silva (2017), se construyen escenarios para

el mejoramiento de los patrones de consumo de transporte en San Pablo, Brasil; Howard et al. (2012) construye un modelo para estimar la demanda energética por metro cuadrado (kWh/año m^2) para edificios residenciales, educacionales y oficinas en Nueva York, Estados Unidos, pero no establece escenarios futuros.

Por su, parte, en Ouyang y Linb (2015) se analizan los posibles ahorros de energía del parque edilicio residencial chino. En Sandberg, Sartori y Brattebø (2014) y Sandberg, Sartori, Vestrum y Brattebø (2017) se utiliza un modelo dinámico de stock de viviendas segmentado para el análisis de escenarios de demanda energética futura en Noruega. Algunos estudios analizan el impacto futuro del cambio climático en edificios (Roux, Schalbart, Assoumou y Peuportier, 2016). Otros estudios adoptan diferentes tipologías de vivienda como unidades de análisis y ensayan su mejoramiento energético en el largo plazo, tal como el trabajo de Drouilles, Lufkin y Rey (2017), donde se utiliza el parque de viviendas periurbanas en Suizas; el de Ghiassi y Mahdavi (2017), donde se analiza un barrio en el centro de Viena; el de Garrido-Soriano, Rosas-Casals, Ivancic y Álvarez-del Castillo (2012), quienes evalúan edificios catalanes.

Asimismo, existen estudios que analizan el impacto futuro de medidas específicas tal como es el caso de Girardin, Marechal, Dubuis, Calame-Darbellay y Favrat (2010), donde se evalúa la integración de un sistema de calefacción urbana y de medidas de mejoramiento de la envolvente edilicia; el trabajo de Abdurafikov et al. (2017), que aborda la construcción de escenarios para analizar el impacto futuro de un sistema de calefacción urbana en dos municipios de Finlandia; el artículo de Khatib et al. (2014), donde se realiza una comparación entre el consumo de energía en viviendas italianas y austríacas y se modela la demanda para ensayar diferentes medidas de gestión de la energía; el estudio de Dahlhausen, Heidarinejad & Srebric (2015), en el cual se analiza la necesidad de capital para desarrollar medidas de adaptación energética, utilizando un edificio en Filadelfia; o el trabajo de Seok Kwon & Østergaard (2014), que evalúa la demanda residencial en un escenario energético danés futuro.

En efecto, si bien se verifica un importante cuerpo de investigaciones sobre estudios urbano-energéticos de largo plazo, es poco frecuente identificar trabajos que cuenten con un abordaje integral del sistema energético (oferta y demanda) que, a su vez, cuenten con desagregación territorial intra-urbana la cual permita direccionar medidas específicas para diferentes sectores y localizaciones de la ciudad. En esta línea, y como antecedente fundamental para este trabajo, es preciso mencionar artículos previos (Chévez et al., 2019a; 2019b), donde se establece la metodología necesaria para elaborar un diagnóstico urbano-energético y escenarios alternativos con un enfoque intra-urbano.

2 Objetivos y alcances del trabajo

En base a la problemática planteada y a la revisión de literatura, donde se resaltó la necesidad de afrontar estudios energéticos integrales (oferta y demanda), con desagregación territorial y que a su vez tengan mirada prospectiva; este trabajo presenta el desarrollo metodológico para la construcción de escenarios urbano-energéticos "tendenciales" de largo plazo en ciudades intermedias, los cuales modelan el futuro probable del sistema, utilizando a la ciudad de La Plata como caso de estudio. Su desarrollo permitirá avanzar con la construcción de escenarios "eficientes", donde es posible intervenir y evaluar la implementación de medidas energéticas y, así, establecer comparaciones que permitan seleccionar las medidas de mayor incidencia en el mejoramiento de los patrones energéticos del caso de estudio. Ambos escenarios parten de un "año base", que establece el estado inicial del sistema en un año determinado, cuyo desarrollo fue publicado en Chévez et al. (2019a).

El artículo simula el modelo energético de la ciudad (oferta-demanda) y focaliza a modo de ejemplo en el sector residencial, el cual es desagregado territorialmente y por usos finales. Su abordaje se basa en una metodología original que subdivide a la ciudad en áreas urbanas con comportamientos internos similares [áreas homogéneas (HA)]; lo que nos permitirá evaluar medidas específicas de EE/ER para cada una de ellas, como la aplicación de regulaciones, programas o incentivos para: la mejora de envolventes de edificios nuevos y existentes; la inserción de sistemas de energía solar para calefacción de espacios, agua caliente sanitaria o generación fotovoltaica (FV); el reemplazo de equipamiento energo-intensivo; entre otras opciones. Este enfoque es poco habitual en la mayoría de los estudios prospectivos urbano-energéticos, donde las áreas de estudio se abordan como un elemento único o donde se utiliza como ejemplo un pequeño sector urbano.

3 Método de abordaje general: etapas y aproximación al universo de análisis para la construcción de escenarios.

Inicialmente es preciso describir la metodología general para la construcción de escenarios urbano-energéticos de largo plazo, como así también la estrategia de abordaje al universo de análisis, lo cual permitirá comprender la contextualización de los escenarios "tendenciales" dentro de un marco general. La presente metodología fue desarrollada exhaustivamente en el marco de una tesis doctoral (Chévez, 2018) y publicada en el artículo de Chévez et al. (2019b). Por consiguiente, a continuación se expone una breve descripción de las etapas y escalas de análisis desarrolladas en las publicaciones previamente citadas.

3.1 Etapas para la construcción de escenarios urbano-energéticos

Los escenarios urbano-energéticos están relacionados con variables socio-demográficas, morfológicas urbanas, constructivas y de equipamiento domiciliario, las cuales inciden sobre el consumo energético. Su elaboración consta de tres etapas (Figura 1):

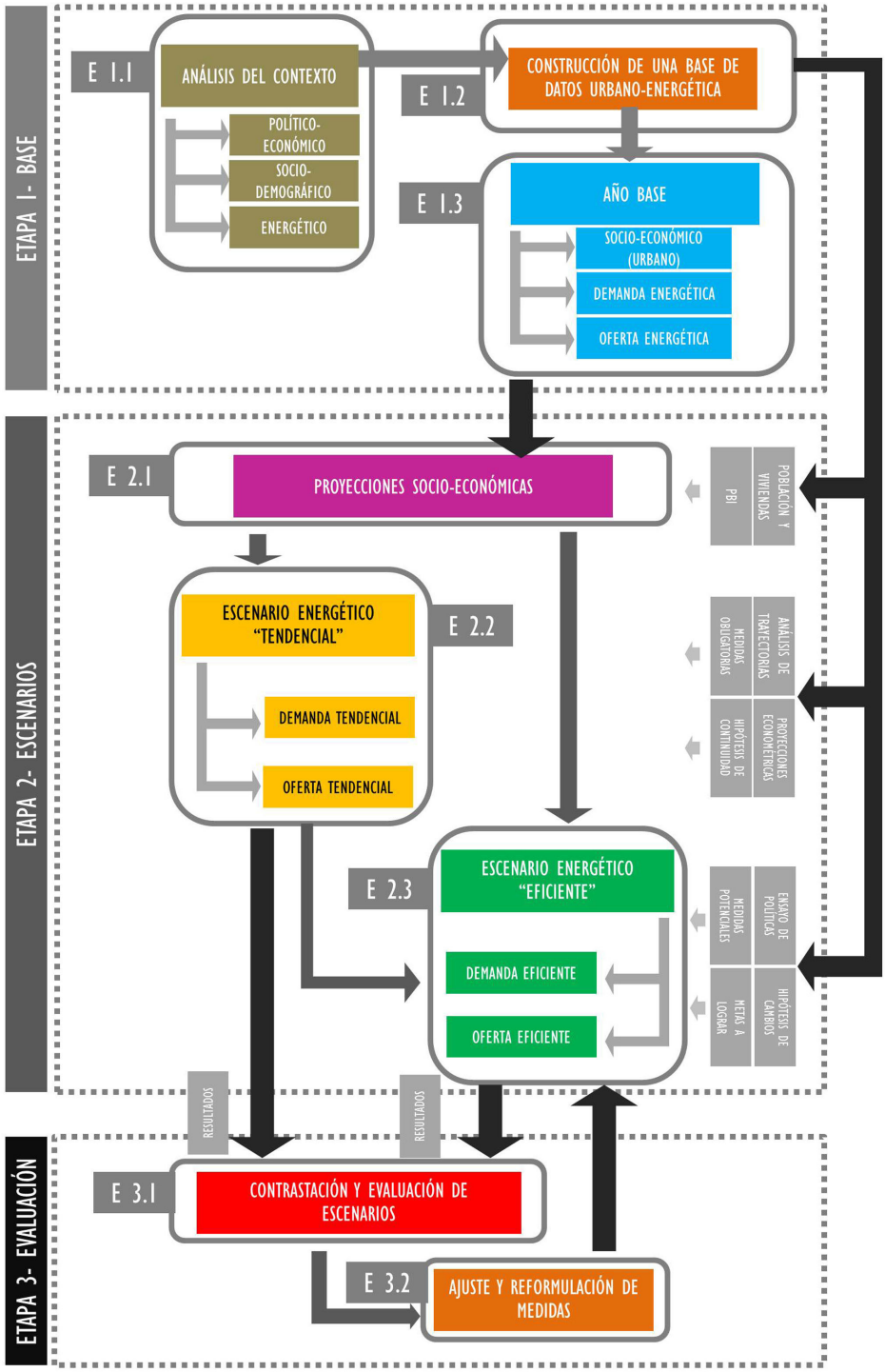


Ilustración. n. 1 Propuesta metodológica para la construcción de escenarios urbano-energéticos. Elaboración propia.*****

Etapa 1: Base (Situación de referencia)

E 1.1.- Analizar cualitativamente y cuantitativamente el contexto político económico, socio-demográfico y energético del área de estudio, tanto en el presente como sus trayectorias previas.

E 1.2.- Normalizar y sistematizar, en una base de datos, información desagregada que incluya variables e indicadores socio-demográficos, morfológicos urbanos, tecnológico-constructivos, de equipamiento y de demanda/oferta de energía, utilizando diferentes niveles de análisis, escalas territoriales y cortes temporales, enfatizando en el sector residencial discriminado por áreas homogéneas urbano-energéticas (AH).

E 1.3.- Definir y construir el "año base", respecto del cual se evaluará el comportamiento de las principales variables a analizar en un determinado año, focalizando en los diferentes sectores urbanos. En este caso, se utiliza el software LEAP que permite modelar sistemas energéticos integrales y construir escenarios.

Etapa 2: Escenarios "tendencial" y "eficiente"

E 2.1.- Elaborar las proyecciones socio-demográficas que manifiesten la evolución poblacional, de viviendas y económico. Estas proyecciones serán comunes para los diferentes escenarios energéticos.

E 2.2.- Construir un escenario urbano-energético "tendencial", que examine los cambios probables en la demanda y en la oferta energética, para los años siguientes manteniendo las trayectorias observadas.

E 2.3.- Construir, ensayar y evaluar escenarios urbano-energéticos "eficientes" con diferentes combinaciones de medidas de eficiencia energética y energías renovables en la demanda y en la oferta de energía.

Etapa 3: Evaluación

E 3.1.- Realizar una comparativa de los escenarios urbano-energéticos (tendenciales y eficientes) construidos, a partir de indicadores que permitan evaluar su impacto en aspectos como el ambiente, costos, sustitución de combustibles fósiles, habitabilidad y otros.

E 3.2.- Evaluar el impacto de las medidas propuestas en los escenarios "eficientes", reformular el alcance de las mismas e iterar el proceso.

3.2 Abordaje del universo de análisis

Tal como se estableció previamente, en el presente trabajo se construye el modelo urbano-energético completo de la ciudad de manera general y, por motivos de extensión, únicamente se abordará de forma detallada el modelado del sector residencial.

En consecuencia, teniendo en cuenta el objeto de estudio y la metodología, la cual incluye la demanda y la oferta energética, es preciso contar con una estrategia que facilite la recopilación y procesamiento de la información a partir de niveles de análisis (global, sectorial y detallado), los cuales se materializan en diversas escalas de trabajo (urbana, residencial, áreas homogéneas, mosaicos urbanos y viviendas). Esto permite sistematizar y sintetizar el relevamiento de información de diversa procedencia y de manera desagregada.

A continuación se describen los niveles y escalas utilizados para el análisis (Figura 2), los cuales permitirán estructurar la recopilación y el procesamiento de la información:

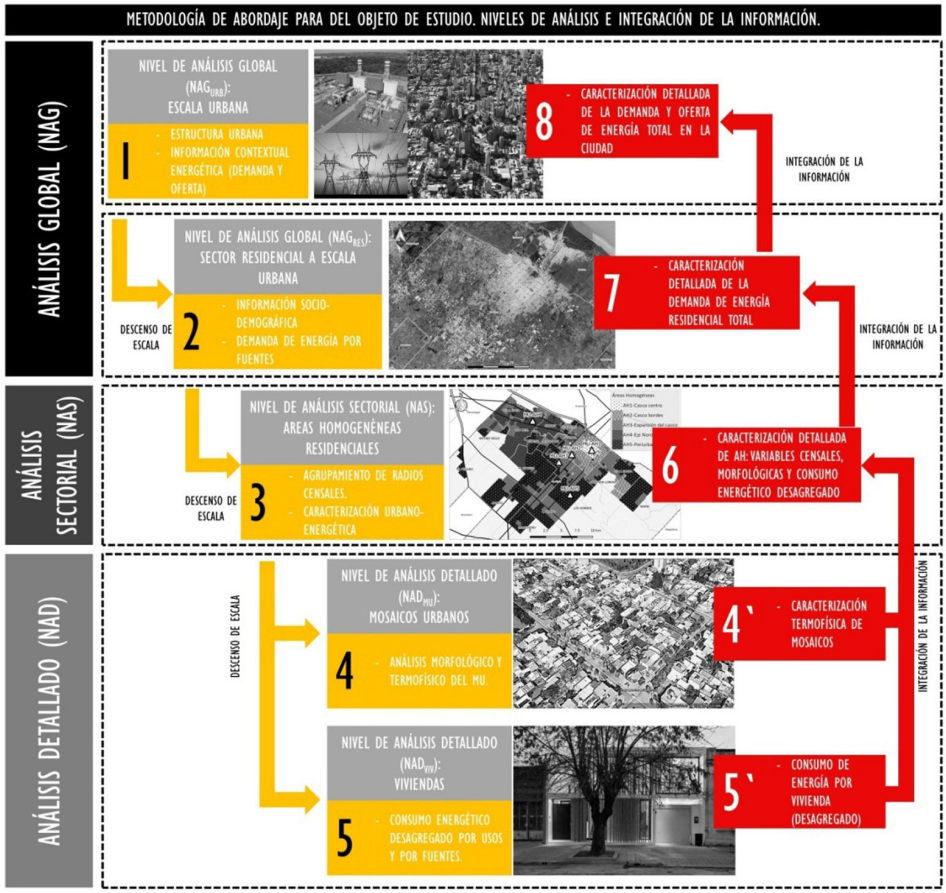


Ilustración n. 2 Abordaje del universo de análisis. Elaboración propia.*****

Nivel de análisis global (NAG):

El análisis global, en primer lugar, analiza la estructura urbana; todos los sectores de consumo (residencial, comercial, industrial, servicios generales, oficial, transporte, alumbrado público, etc.); y el abastecimiento de la oferta energética a escala urbana ($NAG_{URB).}$ Luego, en un nivel inferior releva la información del sector residencial (NA_{GRES}), evaluando el comportamiento de diversas variables socio-demográficas y energéticas en el territorio.

Nivel de análisis sectorial (NAS):

Este nivel de análisis aborda y se circunscribe a las áreas homogéneas urbano-energéticas residenciales (AH) que se agrupan según su similitud interna respecto de una serie de variables socio-demográficas y energéticas predefinidas.

Nivel de análisis detallado (NAD):

El análisis detallado incluye dos escalas territoriales. Para cada una de las áreas homogéneas delimitadas se analizan, de forma paralela, un mosaico urbano (NAD_{MU}) y una muestra estadística de viviendas (NAD_{viv}), en ambos casos representativos del área.

4 Metodología para la construcción del escenario "tendencial"

Tal como se expuso en la metodología general, para la construcción del escenario "tendencial" se utilizó la información brindada por el "año base" (Etapa 1), el cual sintetiza el comportamiento de las principales variables a analizar en un determinado año, en este caso el 2014. Éste se utiliza como año inicial en la simulación de escenarios y se construyó a partir de información urbano-energética sistematizada en una base de datos que contiene variables/indicadores socio-demográficos, morfológicos urbanos, constructivos, como así también de oferta y demanda de energía. Como aspecto principal, es necesario destacar que en el "año base" se desagregó al sector residencial en un número determinado de áreas homogéneas que constituyen el nivel de anclaje de la investigación. Su desarrollo puede consultarse en detalle en Chévez et al. (2019a).

En consecuencia, a continuación se exponen las primeras dos instancias de la Etapa 2 de la metodología general, abordando los métodos y técnicas para la elaboración de las proyecciones socio-económicas [Etapa 2.1] y la construcción del escenario "tendencial" [Etapa 2.2].

4.1 Relevamiento y elaboración de proyecciones socio-económicas [Etapa 2.1]

Para la construcción de los escenarios aquí propuestos se requiere relevar o elaborar la proyección de los valores de tres variables socio-económicas: el producto bruto interno –PBI- (a nivel nacional), la población (de la ciudad) y las viviendas ocupadas (de la ciudad y por AH). Dichas variables permitirán simular la evolución de la demanda de energía específica y neta del caso de estudio.

En el caso del PBI, éste se vincula con los consumos energéticos y permite calcular la demanda específica futura (MJ/año*hab.) de los diferentes sectores a partir de regresiones econométricas. Asimismo, la utilización del PBI como estimador del consumo de energía presenta la ventaja de que diversos organismos elaboran proyecciones de mediano y largo plazo de este indicador, evitando el abordaje de un campo disciplinar complejo. En este sentido se relevó la información provista por el FMI (2016) y OCDE (2012).

En el caso de la evolución de la población del área de estudio, se utiliza para calcular la energía neta de los sectores no residenciales (Comercial, Industrial, Servicios Generales y Oficinas –CISGyO-, Alumbrado Público y Transporte) (MJ/año), la cual surge de multiplicar la demanda de energía específica (MJ/año*hab.) por dicha variable (habitantes). Por lo tanto, se utilizan las proyecciones de población elaboradas por la Dirección Provincial de Estadística (DPE, 2016), que alcanzan hasta 2025, y una regresión matemática que extiende la función aplicada por la DPE para alcanzar el horizonte temporal del año 2040.

En tanto, se plantea la proyección de la cantidad de viviendas ocupadas para calcular la energía neta del sector residencial del caso de estudio (MJ/año), la cual surge de multiplicar la energía específica (MJ/año*viv.) por dicha variable (viviendas). Para ello, se utiliza la información de los últimos censos disponibles (1960-2010), y se construye una curva de regresión para proyectar la información hasta 2040. En tanto, dado que el anclaje del estudio del sector residencial se realiza en las áreas homogéneas, se necesita proyectar la cantidad de viviendas para cada una de éstas utilizando información georreferenciada de censos previos. A partir de la incidencia en cada AH del crecimiento total de las viviendas de la ciudad durante dos períodos intercensales (1991-2010), y conociendo la cantidad de viviendas que se incorporarán en la ciudad entre 2015-2040, se opta por distribuir las nuevas viviendas manteniendo la incidencia histórica de cada AH en el crecimiento total.

Las proyecciones obtenidas serán comunes para los escenarios “tendencial” y “eficiente”.

4.2 Construcción de escenarios “tendenciales” en ciudades intermedias [Etapa 2.2]

El escenario “tendencial” referencia la evolución probable de la demanda y de la oferta energética para los próximos años en el caso de estudio. Este se inscribe en la categoría de los *escenarios exploratorios* dado que describen, a partir de una situación presente y de tendencias dominantes, una serie de hechos que conducen de forma lógica a un futuro verosímil y probable (Godet, 2000).

Tal como se definió en la sección del método de abordaje general (sección 3), se utilizan diferentes niveles de análisis, donde se requiere de un descenso de escalas que permita abarcar las distintas variables e indicadores, para luego integrar la información en las escalas superiores. En este caso, únicamente se desciende desde el nivel global hasta el sectorial, para luego realizar la integración. A continuación se profundiza sobre las técnicas y métodos empleados en las mencionadas escalas:

En el nivel de análisis global a escala urbana (NAG_{URB}), se deben elaborar proyecciones del consumo de energía específica (MJ/año*hab.) para los sectores de consumo CISGyO, Alumbrado Público y Transporte. Para ello, se utiliza un modelo de regresión lineal múltiple que considera las variables sintetizadas en la Tabla 1 (modelo 'Top-Down'). Por su parte, se elabora la proyección tendencial de la oferta energética donde se establecen las trayectorias probables de las fuentes primarias/secundarias y de los centros de transformación en el área de estudio en base a políticas o lineamientos establecidos por el gobierno nacional o provincial publicadas en diferentes soportes de divulgación (MinPlan, 2014; Secretaría de Energía, 2016).

TABLA 1. Variables utilizadas para elaborar proyecciones de demanda de energía de los sectores CISGyO, Alumbrado Público y Transporte en el escenario "tendencial".

Variables		
Dependiente	Energía/ hab.	Unidades de energía por habitante
Independiente	PBI	Producto bruto interno nacional a precios corrientes de 2014.
	Cr02	Variable dummy para el año 2002 que presenta una fuerte caída en el PBI y en la demanda energética ocasionada por la crisis económica, política y social de diciembre de 2001.
	SalidaC	Variable dummy entre los años 2003 y 2015 para representar el crecimiento económico en la postconvertibilidad.
	Cr09	Variable dummy en el año 2009 para modelar el impacto de la crisis internacional de 2008, reflejada en una caída del PBI.

Fuente: elaboración propia.

En el caso del sector residencial, que es el único sector que será analizado de forma desagregada, es preciso descender al nivel de análisis global (NAG_{RES}), donde se utiliza una técnica híbrida que combina las aproximaciones 'Top-Down' y 'Bottom-Up' para obtener proyecciones de energía específica desagregadas por fuentes y por usos (MJ/año*viv.). La aproximación 'Top-Down' es similar al enunciado en la Tabla 1, a diferencia que como variable dependiente se utiliza el indicador de energía por vivienda. La aproximación 'Bottom-Up' permite plantear hipótesis sobre la futura penetración (Pqi) y consumo (Eqi) de los diferentes equipos que totalizarán la demanda domiciliaria en 2040.

En este sentido, para poder contar con indicios de la futura conformación del equipamiento domiciliario, se emprende el análisis en dos etapas:

En primera instancia, se analiza la progresión de ventas nacionales (en millones de pesos) de grupos de equipos domiciliarios, a partir de los informes técnicos de la "Encuesta de comercios de electrodomésticos y artículos para el hogar", publicada por INDEC (2017). De allí es posible observar las tendencias de las ventas entre 2002 y 2016 de los siguientes grupos de equipos: (i) Televisores, videocaseteras, DVD y filmadoras. (ii) Equipos de audio, walkman, radios y similares. (iii) Heladeras y freezers. (iv) Equipos de aire acondicionado. (v) Lavarropas, secarropas y lavavajillas. (vi) Hornos microondas y eléctricos, calefactores, calefones y termotanques. (vii) Computación y accesorios informáticos. (viii) Otros –incluye teléfonos celulares-. La información brindada por INDEC se expresa en millones de pesos anuales y, dado que la moneda argentina se ha devaluado significativamente entre 2002 y 2016, se opta por convertir las ventas anuales a dólares, adoptando la cotización promedio de cada año. A su vez, para eliminar el crecimiento vegetativo, se dividió el monto total de cada grupo de artefactos por la población estimada por INDEC para cada año. En síntesis, se obtiene la evolución de las ventas (en dólares por habitante) de los grupos de equipos mencionados previamente.

En segundo lugar, se plantean hipótesis de la futura penetración (Pqi) y consumo (Eqi) de los diferentes equipos que conforman la demanda. Para ello se requiere: i) analizar la penetración del equipamiento clave a partir de encuestas realizadas en la región, como por ejemplo: el programa Audibaires del año 1987 (IAS, 1987); el proyecto URE-AM de 1999 (Rosenfeld, 1999); y el "año base" construido para el 2014 (Chévez et al., 2019a). A partir de dicho análisis se plantean las hipótesis de penetración de equipos para el año 2040. ii) elaborar el estado del arte de las medidas de eficiencia energética del equipamiento domiciliario (realizado en Chévez, 2017), a los efectos de plantear las hipótesis de consumo específico que tendrán, en el 2040, los equipos detectados en el "año base".

A partir del ajuste de los valores desagregados de penetración y consumo (Bottom-Up), basados en encuestas previas y en la evolución del nivel de ventas de artefactos, se debe alcanzar una sumatoria que sea concordante con la aproximación econométrica (Top-Down), con un margen de error de +/-2%, para luego descender al nivel de análisis sectorial.

En efecto, en el nivel de análisis sectorial (NAS), con los valores de incremento o decrecimiento de la penetración y cantidad de equipos estimados para el año 2040 en el nivel (NAG_{RES}), se desciende al nivel de análisis sectorial constituido por las AH. En cada una de éstas, se aplican los valores de incremento/decrecimiento sobre aquellos valores obtenidos en el "año base" y, de esta forma, se estima el consumo desagregado por fuentes y por usos para el año 2040. En última

instancia, con la proyección de cantidad de viviendas por AH es posible calcular la demanda neta anual de cada una de éstas.

Una vez recabada y procesada la información, es posible realizar su integración desde el nivel inferior hasta el nivel de análisis global. En (NAG_{RES}) se integran todas las áreas homogéneas (AH) conformando la totalidad del sector residencial. En (NAG_{URB}) se integran todos los sectores de la demanda y la oferta energética, cuyos valores son introducidos en el software LEAP para la elaboración del escenario “tendencial”, utilizando la estructura de datos ingresada en el “año base” (véase Chévez et al., 2019).

5 Implementación de la metodología: obtención de resultados para la ciudad de La Plata

La metodología descripta previamente fue aplicada en el caso de estudio concreto de la ciudad de La Plata. Para ello, se partió del “año base” (año 2014) elaborado para dicha ciudad, publicado en Chévez et al. (2019a), el cual permite construir el escenario “tendencial”, que constituye el objetivo principal del presente trabajo. A partir de este avance, en trabajos futuros será posible elaborar escenarios “eficientes”, donde se evalúen diferentes combinaciones de medidas de EE y ER en el sector de la oferta y la demanda. A partir de la simulación de los escenarios alternativos, será posible extraer conclusiones, estudiar el impacto y viabilidad (ambiental, técnica, económica, social y político-institucional) de medidas en cada área urbana analizada y en los diferentes sectores de consumo (transporte, alumbrado público, etc.), lo que permitirá rediseñar y reformular las medidas propuestas.

Tal como se mencionó, el presente trabajo utiliza a La Plata, capital de provincia de Buenos Aires (Argentina), como caso de estudio. Esta ciudad contaba en 2014 con una población estimada de 631.831 habitantes y, si bien cuenta con vínculos estrechos con la Región Metropolitana de Buenos Aires (Figura 3), la misma posee una dinámica de funcionamiento propia, definiéndose como una ‘ciudad intermedia’. Este tipo de ciudades responden a cierta autonomía, pero a su vez son dependientes de las grandes metrópolis, realizan funciones de intermediación entre núcleos más pequeños y grandes áreas metropolitanas, se caracterizan por presentar cierta complejidad funcional, por tener un grado significativo de centralidad y por poseer significativos elementos de simbología histórica, infraestructura y servicios (Rodríguez, 2015). En este sentido, su análisis presenta una gran potencialidad de replicabilidad en universos de similares características, ya que este tipo de ciudades son las de mayor predominancia en nuestro país (Discoli, 2009).

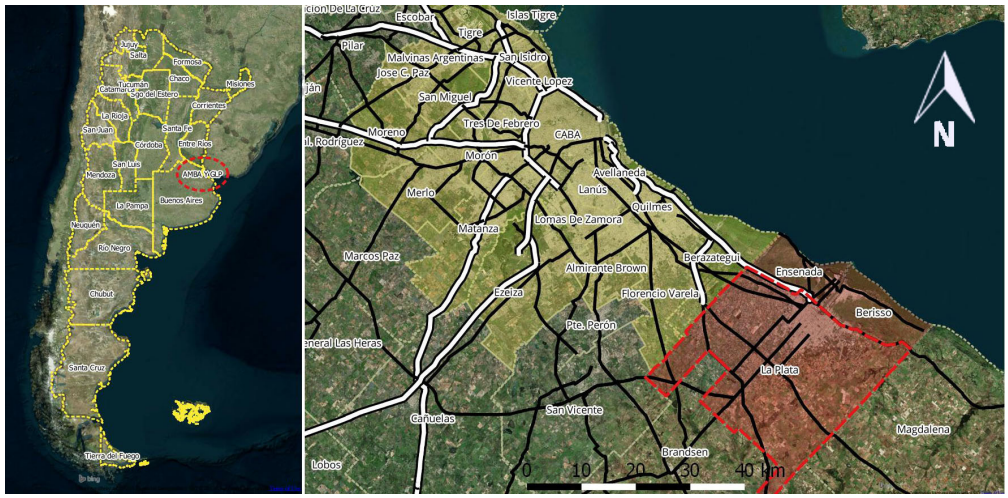


Ilustración n. 3 Ubicación general del área de estudio: inserción a nivel nacional (izquierda –Escala 1:75.000.000-) y regional (derecha –Escala 1:1.500.000-). En amarillo la región metropolitana de Buenos Aires, en rojo el Gran La Plata. Elaboración propia en base a cartografía de Google Earth.*****

Por su parte, se modeló el sistema energético general de la ciudad, incorporando la oferta (fuentes primarias y secundarias, centros de transformación) y la demanda de energía (cinco AHs, Área rural, CISGyO, Alumbrado Público y Transporte). El modelo completo puede identificarse en Chévez et al. (2019a: 768) y, a su vez, éste mantiene su estructura en el escenario "tendencial" que se aprecia en la Figura 24. En cuanto a la desagregación territorial del sector residencial (NAS), ésta se observa en la Figura 4, donde se verifica la delimitación geográfica de las áreas denominadas *AH1-Casco centro*; *AH2- Casco bordes*; *AH3- Expansión del casco*; *AH4-Eje noroeste* y *AH5-Periurbano*. Cada una de estas áreas presenta características bien diferenciadas entre sí, donde fundamentalmente inciden los niveles de consolidación urbana, variables socio-demográficas, morfología urbana, equipamiento y los valores de consumo eléctricos y de gas natural (para un análisis exhaustivo de las características de cada AH véase Chévez et al., 2019a:763). Este enfoque con desagregación intra-urbana resulta novedoso ya que complementa el abordaje habitual de la ciudad como un único elemento (enfoque global), profundizándolo a partir del abordaje de unidades de análisis menores que conforman la totalidad (AH). Esto permite identificar variables críticas y específicas para cada área homogénea, distinguiendo características y problemáticas particulares, sobre las cuales será necesario considerar la implementación de políticas energéticas que se ajusten concretamente a la realidad de las mismas.

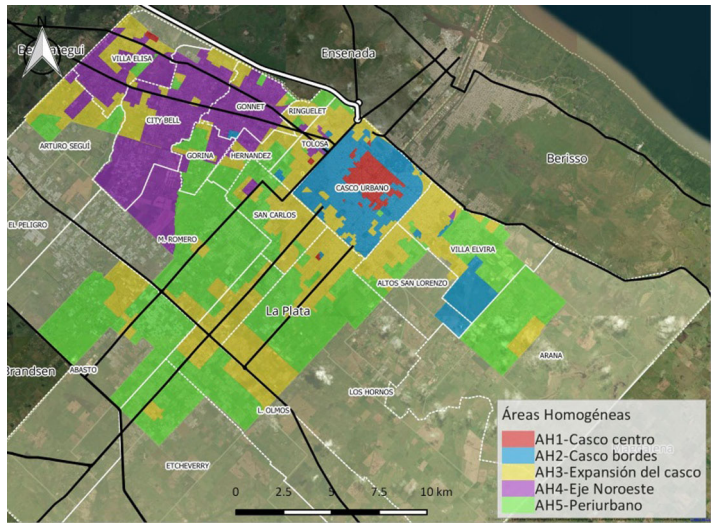


Ilustración n. 4 Mapa del caso de estudio en el cual se distingue la cobertura de cada una de las cinco áreas homogéneas en las que fue subdividida la ciudad (Escala 1:250.000). Elaboración propia.*****

Una vez descripto brevemente el “año base”, a continuación se elaboran las proyecciones socio-económicas para el caso de estudio y, finalmente, se construye el escenario “tendencial”.

5.1 Elaboración de proyecciones socio-económicas para La Plata [Etapa 2.1]

En primera instancia se realizan las proyecciones económicas y demográficas que tienen incidencia en el área de estudio. En tal sentido, se obtiene la proyección del producto bruto interno nacional, que simulará la evolución global de la economía (NAG_{URB}) y que es de interés para la elaboración de los escenarios, ya que permite estimar la demanda de energía específica de los diferentes sectores. Asimismo, se obtienen las proyecciones de población, en la escala de ciudad (NAG_{URB}), y de viviendas, tanto a nivel ciudad (NAG_{RES}) como para las distintas áreas homogéneas (NAS).

5.1.1. Proyección del producto bruto interno nacional (NAG_{URB}):

A partir de las fuentes consultadas (FMI, 2016; OCDE, 2012) se construye la serie temporal 1990-2040 para el PBI nacional, tal como se observa en la Figura 5.

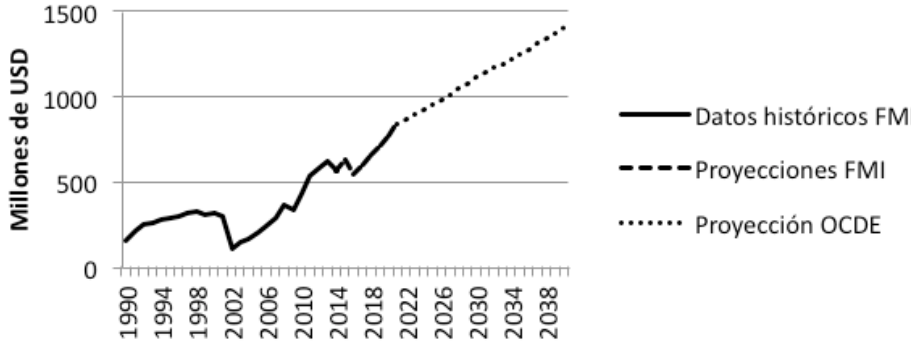


Ilustración n. 5 Evolución del PBI nacional entre 1990 y 2040 en Argentina. En millones de dólares (precios de 2014). Elaboración propia en base a información de FMI (2016) y OCDE (2012).*****

5.1.2. Proyección de población para el partido de La Plata (NAG_{URB}):

En la Figura 6 se observa la evolución de la población en el área de estudio, entre 1960 y 2040, cuya información se utiliza para elaborar el escenario “tendencial” y “eficiente”.

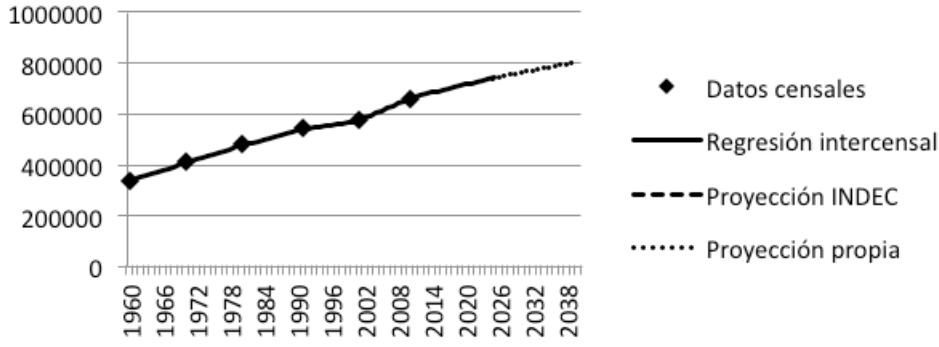


Ilustración n. 6 Evolución histórica de la población del partido de La Plata entre 1960- 2010 y proyección entre 2010 y 2040. Elaboración en base a DPE (1971); INDEC (1973; 1982; 1994); Redatam (2017a; 2017b), DPE (2016) y proyecciones propias.*****

A partir del análisis de la Figura 6 se puede observar que entre 1960 y 2010 la población prácticamente se duplicó, pasando de 337.060 a 659.575 habitantes. Por su parte, se espera que para 2040 se alcance un valor de 802.587 habitantes.

5.2.3. Proyección de viviendas ocupadas para el partido de La Plata (NAG_{RES} y NAS):

En este punto se elaboran las proyecciones de cantidad de viviendas ocupadas para el período 2010-2040, tanto a nivel global (NAG_{RES}) como sectorial (NAS) -en las distintas AH-.

En relación a la proyección de viviendas a escala urbana (NAGRES), la Figura 7 muestra el resultado de la aplicación de la proyección hasta 2040, junto con los datos históricos extraídos de los diferentes censos.

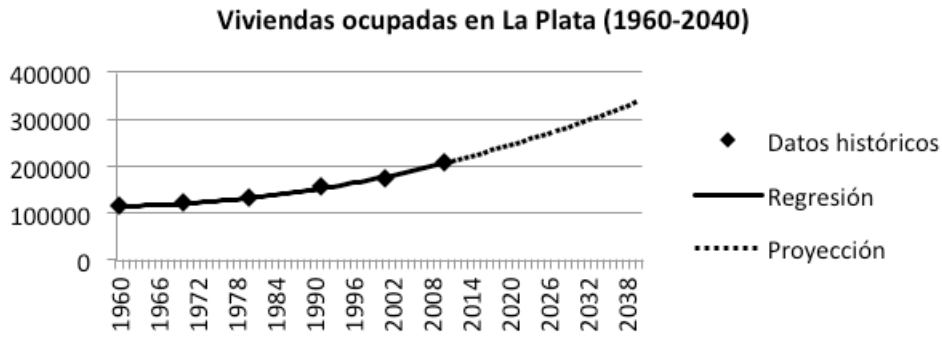


Ilustración n. 7 Evolución histórica de la cantidad de viviendas ocupadas en el partido de La Plata entre 1960- 2010 y proyección entre 2010 y 2040. Elaboración en base a DPE (1971); INDEC (1973; 1982; 1994); Redatam (2017a; 2017b) y proyecciones propias.*****

A partir de la Figura 7 se puede verificar que la cantidad de viviendas entre 1960 y 2010 prácticamente se ha duplicado, pasando de 114.520 a 209.388 en dicho período. En tanto, se estima que para el año 2040 se alcance un total de 337.985 viviendas en todo el partido.

En cuanto a la proyección de viviendas por área homogénea (NAS), las cuales constituyen el nivel de anclaje (NAS), se realiza una aproximación de su probable evolución a partir de información territorializada del Censo 1991 y del “año base” que es el 2014, contabilizando las viviendas ubicadas en cada una de las AH. A partir de dichos valores se calcula la incidencia de cada AH en el crecimiento total de las viviendas de la ciudad. La Tabla 2 muestra que, por ejemplo, el *AH3-Expansión del Casco* aportó el 39,45% del crecimiento urbano total ocurrido en La Plata entre los años 1991 y 2014.

Una vez identificada la incidencia de cada área sobre el crecimiento ocurrido entre 1991-2014 y la cantidad de viviendas que se incorporarán a 2040 en toda la ciudad, que resultó en 118.887 (obtenida en NAG_{RES}), se asignan los porcentajes de participación de cada área a dicho valor y se suma a las viviendas existentes en 2014. Dicha sumatoria resulta en la cantidad total de viviendas ocupadas que se estiman para 2040 en cada AH y cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 2.

TABLA 2. Evolución de viviendas ocupadas por AH.
Fuente: elaboración propia en base a información censal.

	Viviendas 1991	Viviendas 2014	Crecimiento % (1991-2014)	Crecimiento absoluto (1991-2014)	Incidencia del AH en el crecimiento	Crecimiento a 2040	Crecimiento absoluto esperado por AH	Viviendas 2040	Crecimiento anual proyectado %
AH1	33 900	34 767	2,56%	867	1,26%	118 887 viv.	1 500	36 267	0,16%
AH2	50 047	53 821	7,54%	3 774	5,49%		6 532	60 353	0,44%
AH3	47 938	75 040	56,54%	27 102	39,45%		46 905	121 945	1,89%
AH4	13 160	20 733	57,55%	7 573	11,02%		13 106	33 839	1,90%
AH5	5 359	30 307	465,53%	24 948	36,32%		43 177	73 484	3,46%
Rural	0	4 430	-	4 430	6,45%		7 667	12 097	3,94%
Total	150 404	219 098	45,67%	68 694	100%		118 887	337 985	1,68%

Fuente: elaboración propia.

5.2 Construcción del escenario urbano-energético "tendencial" para La Plata [Etapa 2.2]

Una vez expuesto el "año base" y realizadas las proyecciones socio-económicas, se plantea la construcción del escenario "tendencial" que incluye tanto la demanda como la oferta de energía. Para ello, se trabaja en el nivel de análisis global ($NAG_{URB)}$, donde se aborda la demanda de los sectores de CISGyO, Alumbrado Público y Transporte y la oferta energética. Luego, también en el nivel global, se profundiza en el Sector Residencial donde se proyecta el consumo desagregado por usos y fuentes en la escala urbana (NAG_{RES}). Posteriormente, se desciende al nivel sectorial (NAS), para obtener la proyección del consumo desagregado por usos y fuentes de las distintas AH; y, finalmente, se integra la información y visualizar las salidas de las simulaciones en el software LEAP.

5.2.1. Modelo general, proyecciones tendenciales globales de demanda y oferta de energía (NAG_{URB}):

En la presente sección se obtienen las proyecciones de demanda de energía específica para los distintos sectores de consumo, que se calculan de manera global; y de la oferta energética, donde se incorporan centrales de generación eléctrica que continúan con la tendencia de la matriz relevada en el "año base" la cual depende directamente de los combustibles fósiles.

Para la elaboración de las proyecciones de la demanda “tendencial” futura de energía específica por habitante de los sectores CISGyO, Alumbrado Público y Transporte se aplicó el modelo econométrico descripto en la Tabla 1, basado en el PBI y variables binarias.

Los resultados de las proyecciones de demanda de energía por habitante del Sector CISGyO, se pueden observar en la Figura 8. Dicho sector utiliza como vectores energéticos a la electricidad y al gas natural y, en este sentido, los gráficos indican que para el final del período se consumirán unos 1393 kWh/año*hab de electricidad y unos 268,61 $m^{3/}$año*hab de gas natural, lo cual representa un incremento, en relación al “año base”, del 49% y 37% respectivamente.

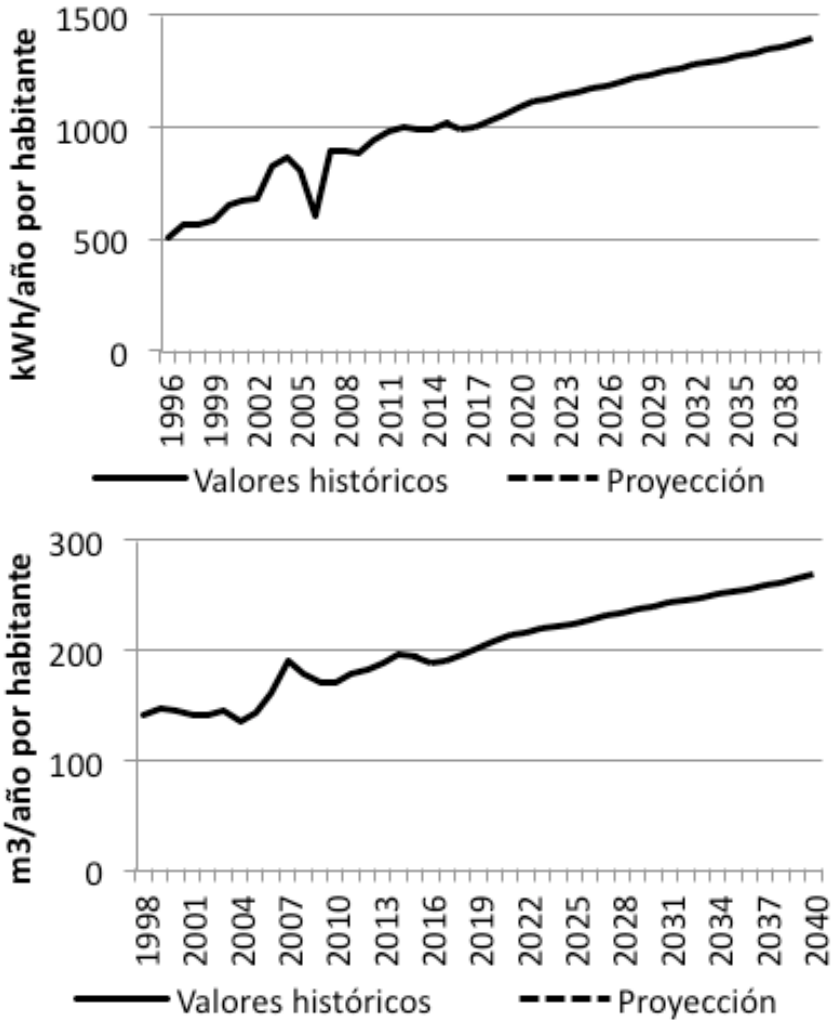


Ilustración n. 8 Evolución del consumo de electricidad (izq.: kWh/año por habitante) y de gas por red (der.: m3/año por habitante) en el Sector CISGyO. MINEM (2017a), Camuzzi S.A. (2000; 2016) y elaboración propia.*****

La proyección del consumo de electricidad destinada a Alumbrado Público (Figura 9) muestra que para el año 2040 se alcanzará una demanda de 176,70 kWh/año*hab, un 37% más que en el "año base", y que su evolución será prácticamente lineal.

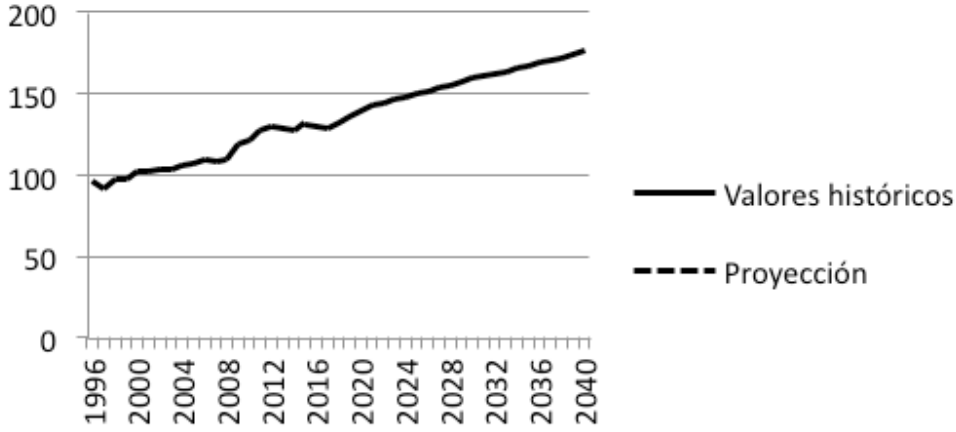


Ilustración n. 9 Evolución del consumo de electricidad por habitante en Alumbrado Público (kWh/año por habitante). MINEM (2017a) y elaboración propia.*****

En cuanto al Sector Transporte, éste presenta tres combustibles: gasoil, naftas y gas natural comprimido (GNC). Las proyecciones per cápita indican un decrecimiento en el uso del GNC como combustible vehicular, una tendencia estable en el uso de gasoil y un crecimiento en el uso de naftas. Dichos comportamientos se observan en la Figura 10, donde las curvas muestran que para el año 2040 el consumo de gasoil alcanzará los 133 L/año*hab, en cuanto a las naftas el valor ascenderá a 480 L/año*hab y en GNC se consumirán unos 49 m3/año*hab. Estos valores significan una disminución del 5,6% en gasoil, un incremento del 89% en naftas y una merma del 29% en GNC, todos respecto de sus valores en el "año base".

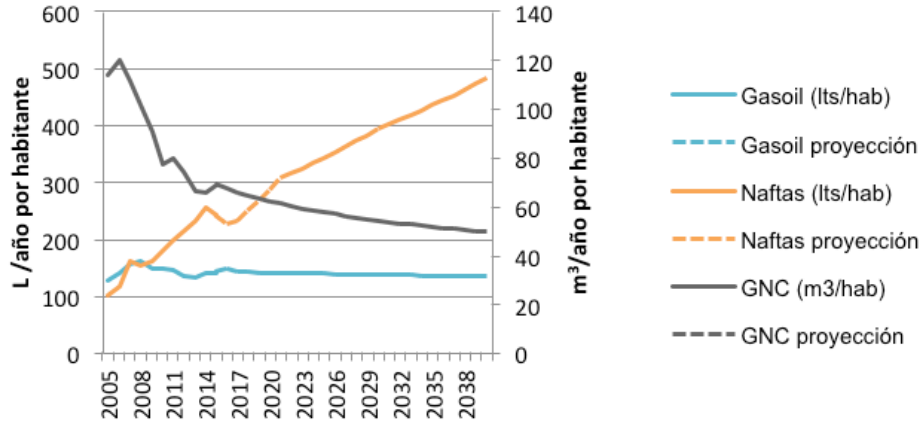


Ilustración n. 10 Evolución del consumo de combustibles para el Sector Transporte. MINEM (2017b) y elaboración propia.*****

En cuanto al modelado de la oferta de energía, al formar parte de los sistemas interconectados nacionales se considera que el área de estudio cuenta con los recursos primarios necesarios para abastecer a los centros de transformación o directamente a la demanda. Estos recursos son: el carbón mineral, la leña, el uranio, la energía eólica, solar e hidráulica, como así también el petróleo y el gas natural.

Respecto a los centros de transformación, como las plantas de tratamiento de gas o las refinerías, las mismas han sido diseñadas en el "año base" con capacidad suficiente para abastecer a la demanda de forma continua durante todo el período analizado. En lo que refiere a las centrales eléctricas, se requiere establecer un orden de mérito para los ingresos de potencia durante el período a simular (2015-2040). En tal sentido, para representar la tendencia de una matriz eléctrica que se basa principalmente en los combustibles fósiles (MinPlan, 2014; Ruggeri y Garrido, 2019), se instruye al software LEAP para que, a medida que la demanda lo requiera, se adicionen los módulos de potencia que se detallan en la Tabla 3. El software incorporará anualmente la potencia necesaria para mantener un margen de reserva prestablecido y lo hará respetando la potencia anual que es posible construir para cada módulo y el orden de mérito dispuesto. Cabe señalar que el parque de generación modelado en el "año base" replica proporcionalmente la matriz nacional argentina y cuenta con una potencia de 320 MW, donde fundamentalmente predomina la tecnología de ciclos combinados, respetando los costos de capital y operativos de mercado (Chévez et al., 2019a: 760).

TABLA 3.- Hipótesis del orden de adiciones de potencia para el escenario "tendencial".

Orden de adición	Tipo de central	Capacidad del módulo anual
1	Nuevas Diesel	0,5 MW
2	Nuevas Ciclo Combinado	10 MW
3	Nuevas Turbo Gas	1 MW
4	Nuevas Turbo Vapor	1 MW
5	Nuevas Nucleares	5 MW
6	Nuevas Hidráulicas	5 MW

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en el caso de las pérdidas por transporte, tanto de gas natural como de electricidad se mantienen los valores introducidos en el "año base" (5,88% -gas- y 12,84% -electricidad-).

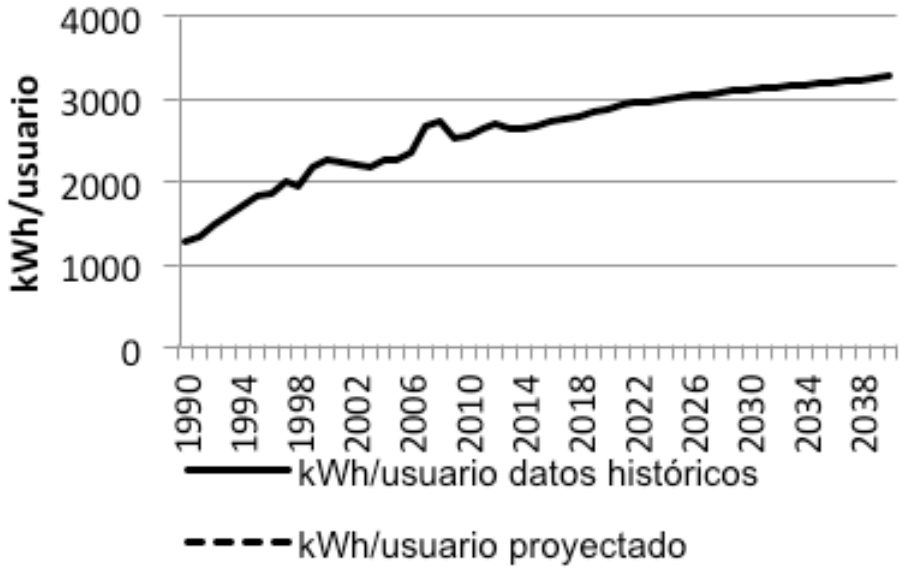
En cuanto a los precios de los recursos primarios, se estima que el petróleo y el gas natural incrementarán su costo en un 1% anual (precio en año base: 461 USD/m3-petróleo- y 4,69 USD/MMBTU –gas-), mientras que el resto de los energéticos permanecerán estables.

5.2.2. El sector Residencial, proyecciones tendenciales para el año 2040 del consumo energético desagregado por fuentes y por usos (NAG_{RES} y NAS):

En primer lugar se presenta la proyección tendencial del consumo residencial en la escala urbana (NAG_{RES}), realizada por medio de las aproximaciones Top-down (econométrica) y Bottom-Up (desagregada), con su correspondiente iteración hasta alcanzar el ajuste entre ambas.

Para el abordaje 'Top-Down' (desde arriba), se realizan proyecciones del consumo residencial de electricidad y gas natural de toda la ciudad, como así también de la cantidad de usuarios. Para ello, se realizan regresiones econométricas que vinculan la demanda energética/usuarios con el producto bruto interno del país. Una vez obtenidas las ecuaciones de regresión de electricidad y gas natural (modelo retrospectivo 1990-2014), se adoptan las proyecciones del PBI hasta el año 2040 para la República Argentina y se aplican las ecuaciones obtenidas (modelo prospectivo 2015-2040). De esta manera, a partir del cociente entre energía y usuarios, es posible obtener el consumo promedio para cada año de la serie (2015-2040) (Figura 11). En cuanto a los combustibles como el GLP, leña o kerosene, se considera que el consumo promedio por usuario, así como la proporción de usuarios detectados en el año base, permanecerán fijos. Dicha suposición es necesaria debido a la falta de datos.

A partir de las estimaciones realizadas con los datos agregados de las distribuidoras, se observa que: la energía eléctrica parte de un consumo promedio por usuario de 2640 kWh/año en 2014 y alcanzaría los 3265 kWh/año en 2040 (+23,67%); y el gas natural parte de una media de 1122 m3/año para 2014 y alcanzaría los 1180 m3/año para 2040 (+5,16%), demostrando una escasa fluctuación en el consumo.



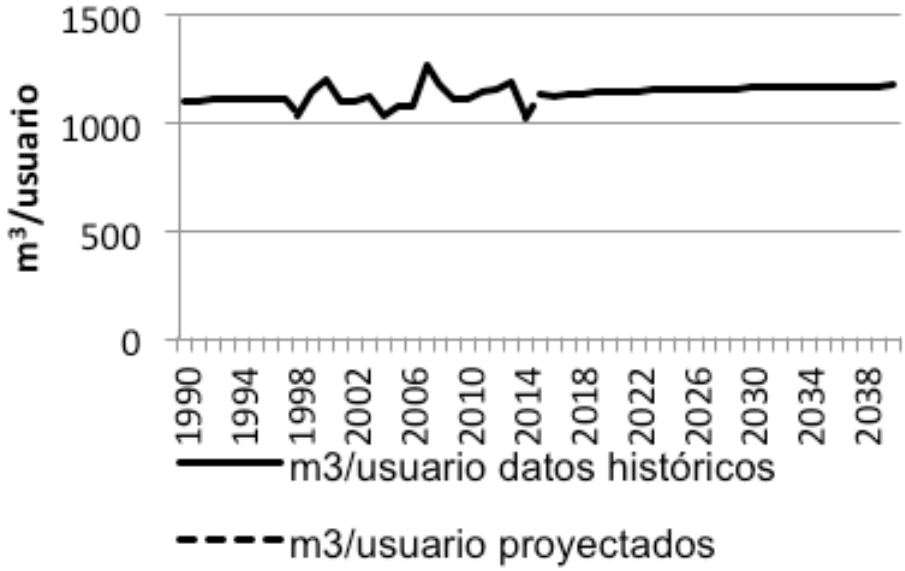


Ilustración n. 11 Evolución del consumo eléctrico por usuario (izquierda) y de gas natural (derecha) en la ciudad de La Plata entre 1990 y 2040. MINEM (2017a), Camuzzi S.A. (2000; 2016) y elaboración propia.*****

En el caso de la aproximación 'Bottom-Up', la misma surge del "año base", más precisamente de la información del consumo energético desagregado, relevado a partir de encuestas en NADVIV y cuya información fue organizada en grupos de consumo. Para cada uno de éstos se cuenta con la penetración de equipos por vivienda y el consumo de energía promedio en 2014. Por lo tanto, para estimar la demanda para el año 2040 de manera desagregada, es necesario plantear hipótesis de la futura penetración de equipos (Pqi) y de sus respectivos consumos energéticos (Eqi).

En este sentido, siguiendo las etapas planteadas en la metodología, en primera instancia se analizan las ventas históricas de equipos, cuantificadas en dólares por habitante, las cuales se pueden observar en las Figuras 12 y 13. A partir de ambos gráficos se puede afirmar que las ventas totales han sido crecientes en todo el período, a excepción de los años 2009, 2014 y 2016. Al inicio del período, cada habitante invertía en la compra de equipamiento domiciliario unos 7,9 USD/año, mientras que en 2015 se alcanzó un valor de 145 USD/año.

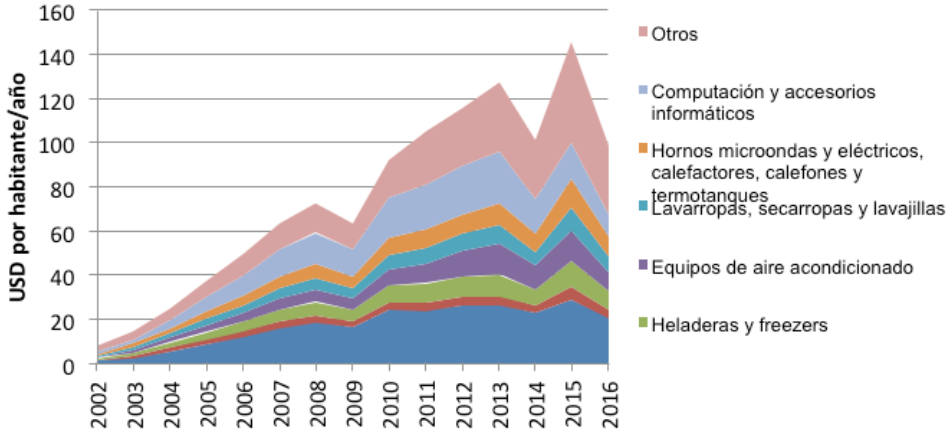


Ilustración n. 12 Ventas nacionales acumuladas de equipos domiciliarios en USD por habitante. INDEC (2017).*****

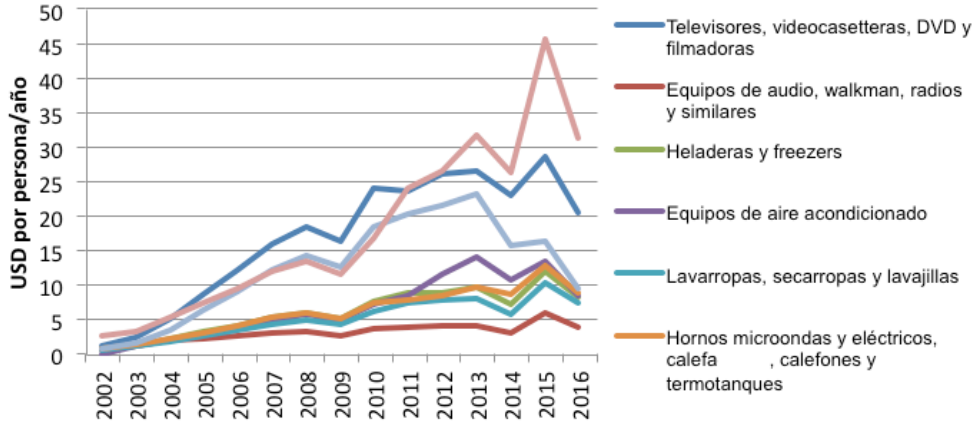


Ilustración n. 13 Ventas nacionales individuales de equipos domiciliarios en USD por habitante. INDEC (2017).*****

A partir de la observación de la evolución de cada grupo de artefactos podemos describir algunos comportamientos generalizados que fueron sintetizados en cuatro categorías, en función del incremento de las ventas: (a) Pronunciado, (b) Intermedio, (c) Leve y (d) Muy escaso. A continuación se sintetiza la información (Tabla 4), indicándose cómo ha sido el ritmo de ventas de los diferentes grupos de equipos entre 2002 y 2016 y cómo se estima que evolucionarán las ventas.

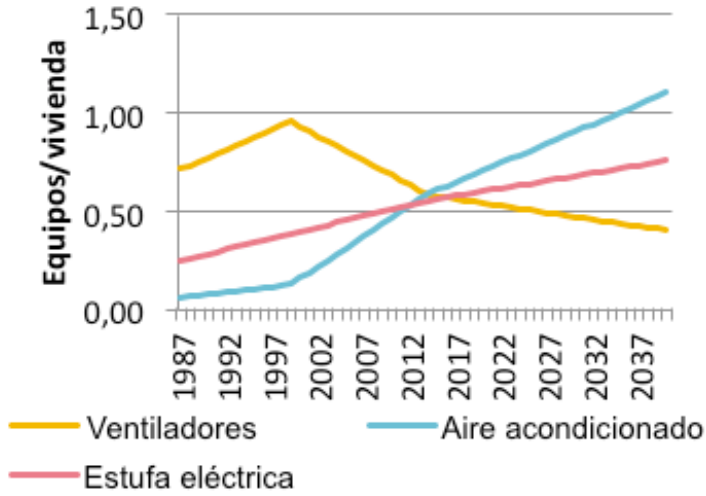
TABLA 4.- Síntesis de la información extraída de las ventas de equipos en el período 2002-2016.

Incremento de ventas 2002-2016	Grupos de equipos informados por INDEC	Tendencia de continuidad de ventas
Pronunciado	(i) Televisores, videocaseteras, DVD y filmadoras	≈
	(vii) Computación y accesorios informáticos	□
	(viii) Otros.	↑
Intermedio	(iv) Equipos de aire acondicionado	□
Leve	(vi) Hornos microondas y eléctricos, calefactores, calefones y termotanques	≈
	(iii) Heladeras y freezers	≈
	(v) Lavarropas, secarropas y lavavajillas	≈
Muy escaso	(ii) Equipos de audio, walkman, radios y similares	↓

Fuente: elaboración propia.

Una vez relevadas las ventas de los distintos equipos se analiza la evolución de los artefactos domiciliarios más representativos a partir de trabajos de encuestas realizados en la región metropolitana y La Plata como Audibaires (IAS, 1987), URE-AM (Rosenfeld, 1999) y el actual "año base" (2014) (Chévez el al, 2019a). A partir de esta información, se plantean hipótesis de penetración y consumo específico de los equipos para al año 2040, lo cual definirá la demanda por vivienda para el horizonte final. A modo de ejemplo, en el presente trabajo se presentan únicamente los equipos de climatización eléctricos, mientras que la totalidad de las hipótesis se presentan en Chévez (2018).

En consecuencia, la evolución de la penetración de equipos de climatización eléctricos en los hogares puede apreciarse en la Figura 14. Allí se observa que los ventiladores primero han incrementado y luego descendido su participación, dejando lugar a los acondicionadores de aire individuales que han aumentado considerablemente su presencia en los hogares, por lo que es posible confirmar que se generó un proceso de sustitución tecnológica energo-intensiva. En tanto, las estufas eléctricas (equipos por efecto Joule) han denotado un incremento sostenido durante todo el período. Por consiguiente, se estima que la participación de los ventiladores continuará en leve descenso, mientras que los equipos acondicionadores de aire individuales continuarán acrecentando su participación, pero a una tasa de crecimiento menor respecto del período anterior, tal como se pudo analizar en la sección de ventas donde mostraron una desaceleración en los últimos años. Por su parte, se estima que las estufas eléctricas seguirán incrementando su participación (a una velocidad menor) debido a sus bajos precios de venta, los cuales permiten el acceso a la calefacción a hogares sin conexión de gas por red o para climatizar espacios de uso esporádico.



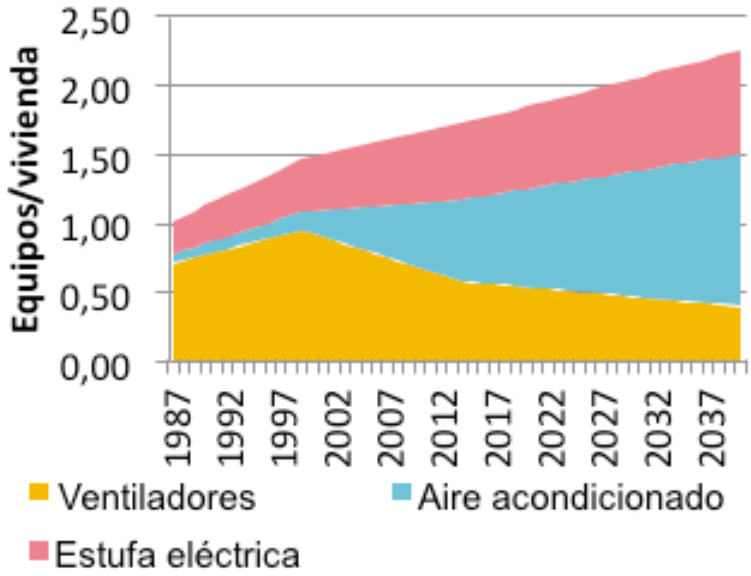


Ilustración n. 14 Evolución individual y acumulada de la penetración de los equipos de climatización entre 1987 y 2040 en la ciudad de La Plata. INDEC (2017). IAS (1987), Rosenfeld (1999), Chévez et al. (2019a) y proyecciones propias.*****

Respecto al consumo de energía esperado, para el caso de los acondicionadores de aire, se asignó una reducción en el consumo del 15%, suponiendo que en 2014 se contaba con un parque que en promedio es Clase D o E (2,8≥IEE>2,4) y que gran parte de estos para 2040 serán reemplazados por equipos Clase A o B (3,2<IEE>3,0) que son los que actualmente se permiten para la venta. Los ventiladores y equipos por efecto Joule mantendrían los mismos consumos.

En tanto, para el resto de los usos energéticos se hicieron consideraciones análogas, analizando pormenorizadamente las trayectorias previas y las tendencias a futuro, las cuales se desarrollaron en Chévez (2018). En este sentido, se incorpora el Anexo 1 que presenta la síntesis de la penetración y consumo de equipos en 2014 y 2040, los cuales fueron utilizados en el modelo.

Una vez realizadas las aproximaciones 'Top-Down' y 'Bottom-Up', se realizan ajustes en la penetración y consumo de los diferentes equipos en el año 2040 hasta que ambas aproximaciones sean coincidentes (+/- 2%) (Figuras 15 y 16).

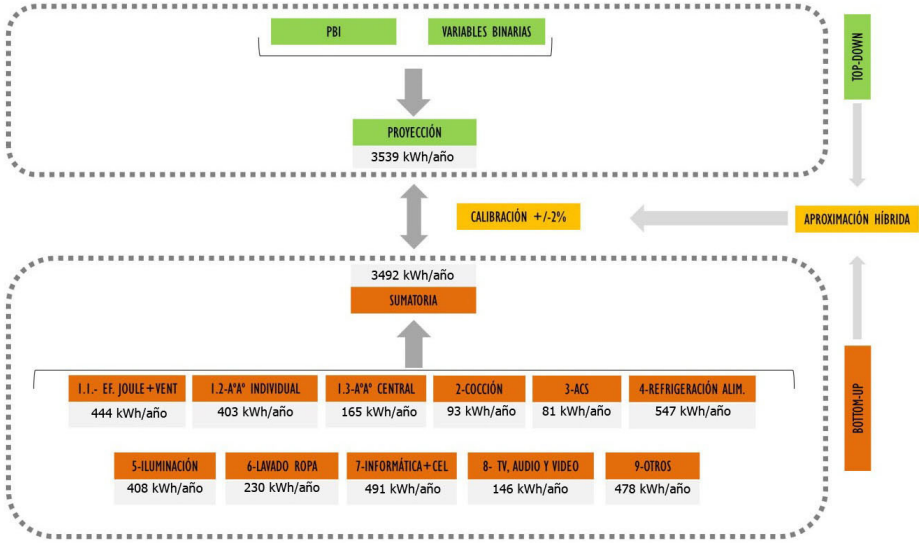


Ilustración n. 15 Aproximación 'Top-Down'/'Bottom-Up' del consumo de energía eléctrica residencial por usuario (2040). Elaboración propia.*****

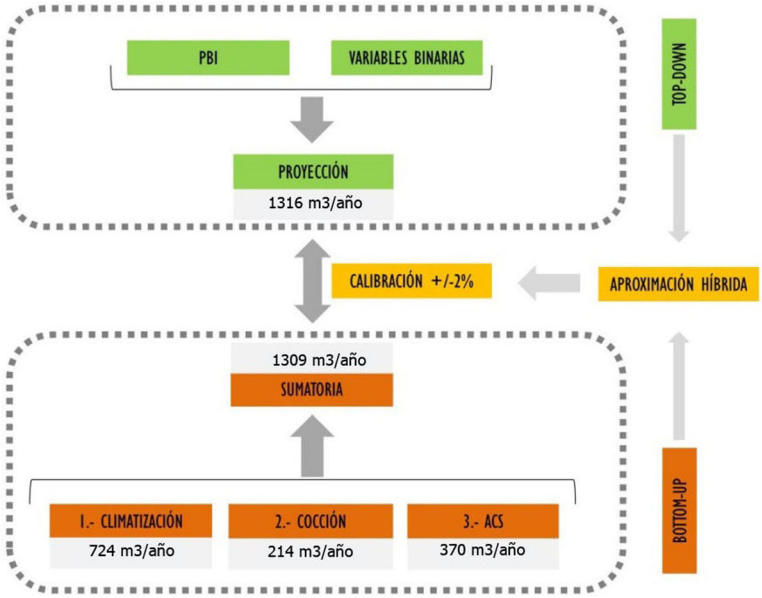


Ilustración n. 16 Aproximación 'Top-Down'/'Bottom-Up' del consumo de gas natural residencial por usuario (año 2040). Elaboración propia.*****

Por su parte, para la determinación del consumo residencial tendencial desagregado por usos en la escala sectorial (AH) para el año 2040 (NAS), ante la falta de información más precisa, se estima que la tasa de cambio en la penetración y en el consumo de los equipos será similar en todo el territorio y, por tal motivo, a cada AH (NAS) se le aplican los mismos porcentajes que modifican la penetración y el consumo del equipamiento entre 2014 y 2040 en la escala urbana (NAGRES) y se obtiene de manera desagregada el consumo de los diferentes vectores energéticos para cada una de las cinco AH en el año 2040.

5.2.3. Integración de la información en el software LEAP y visualización de las salidas del modelo:

A partir del modelado del "año base", una vez realizadas las proyecciones socio-económicas y energéticas para los distintos sectores que conforman la demanda y la oferta, se introducen sus valores al software LEAP, que simulará para cada año de la serie 2015-2040 los requerimientos de energía total y desagregada, como así también su abastecimiento, siendo posible construir balances de energía para cada año.

La Figura 17 muestra los resultados del Escenario "tendencial" a partir del análisis de la demanda total de energía, dividida por sectores de consumo y, en el caso del Sector Residencial, por AH. Allí se puede verificar que para 2014 la demanda neta era de 28,5 PJ, mientras que para el final del período se demandarán unos 47,01 PJ (+64,9%); de los cuales el Sector Residencial requerirá un 36,0%; el Sector CISGyO un 24,3%; el Alumbrado Público un 1,1% y el Sector Transporte un 38,6%.

Si profundizamos en el Sector Residencial, la demanda total aumentará de 10,77 PJ en 2014 a 16,95 PJ en 2040 (+57,3%) y, en términos desagregados, la demanda de las dos áreas más consolidadas crecerá levemente (AH1=+7% y AH2=+23%), mientras que las tres áreas en consolidación incrementarán considerablemente su demanda (AH3=+76%; AH4=+77% y AH5=+280%). Este incremento en la demanda neta en sectores no consolidados se originará en la periferia de la ciudad, donde en muchos casos la red de energía es deficitaria, ya sea por falta de tensión o cortes reiterados (electricidad) o inexistencia (gas natural); pon lo tanto, será necesario mejorar las condiciones de infraestructura u orientar las expansiones urbanas hacia sectores más favorables.

Por su parte, en la Figura 18 es posible identificar la evolución tendencial de la demanda residencial neta para la ciudad de La Plata desagregada por usos finales. Allí se observa que la mayor participación la presentan los usos destinados a 1.- Climatización, 2.- ACS y 3.- Cocción, que incluyen el uso de los diferentes combustibles (electricidad, gas natural y comb. a granel). Los seis restantes usos son netamente eléctricos y representan un porcentaje bajo del consumo total, por un lado, porque al tratarse de la demanda, la electricidad no incluye las pérdidas asociadas a la eficiencia térmica necesaria para su generación, que son de aproximadamente un 50% y, por el otro, porque los primeros tres

usos son térmicos, es decir, energo-intensivos, mientras que los restantes seis presentan una intensidad energética mucho menor.

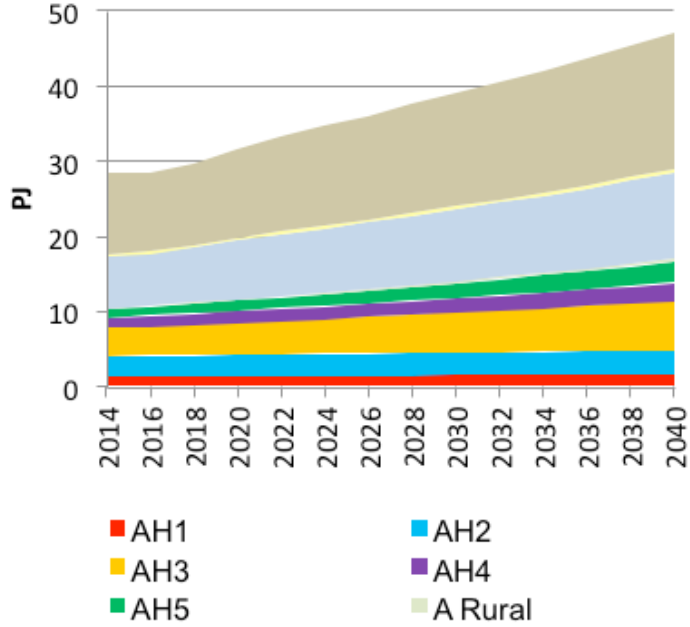


Ilustración n. 17 Evolución de la demanda de energía neta en La Plata desagregada por sectores de consumo (2014-2040). Elaboración propia.*****

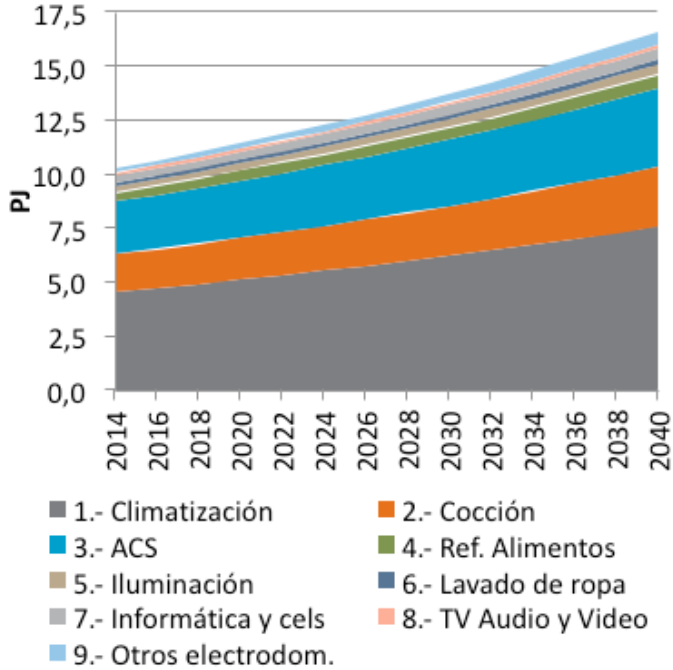


Ilustración n. 18 Evolución del consumo neto residencial desagregado por usos finales (2014-2040). Elaboración propia.*****

Asimismo, es posible comparar la demanda futura promedio por vivienda en cada una de las AHs, donde se observan consumos muy heterogéneos (Figura 19). Por ejemplo, el AH4 demanda aproximadamente 70 GJ/año*vivienda y el AH5 no logra alcanzar los 40 GJ/año*vivienda, cuando la primera presenta un promedio de personas por hogar más bajo que la segunda (2,97 vs. 3,64 personas/hogar; Chévez et al., 2019a: 763). Asimismo, la incidencia de los usos finales sobre la demanda promedio por vivienda es diferente en cada caso; donde, por ejemplo, en el AH4 la climatización demanda más del 50% de la energía y en el AH5 dicho valor es del 35%. Esta diferencia remarca la necesidad de orientar medidas particulares para cada caso, no solo por los usos finales, sino también por las condiciones socio-demográficas críticas que presenta cada área. Comprender los aspectos más relevantes de cada sector urbano permite contar con argumentos para delinear medidas específicas de EE y ER y, así, mejorar los patrones de consumo y las condiciones de habitabilidad.

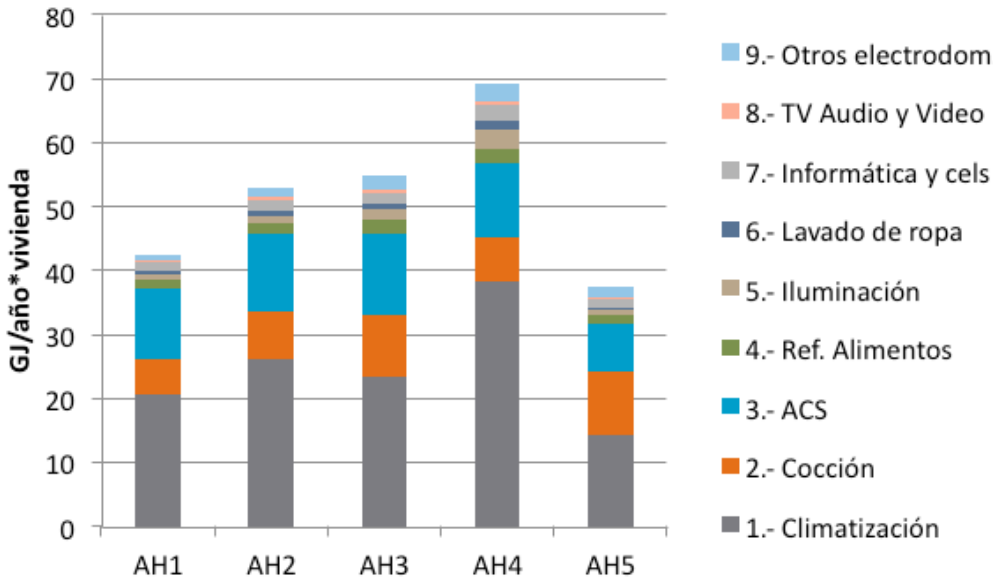


Ilustración n. 19 Comparativa por áreas homogéneas del consumo energético por vivienda desagregado por usos finales en 2040. Elaboración propia.*****

Analizando nuevamente el conjunto del sistema, pero en este caso desde el lado de la oferta, en primer lugar es posible analizar la capacidad instalada de centrales eléctricas necesarias para abastecer la demanda (Figura 20), que pasa de 320 MW en 2014 a 560 MW en 2040 (+75%). Mientras que en la Figura 21 se observa la generación eléctrica por tipo de central, la cual pasa de 1.591.839 MWh en 2014 a 2.785.550 MWh en 2040 (+75%). Dada la instrucción que se le dio al software de incorporar principalmente centrales térmicas (ciclos combinados) y, en segundo orden de prioridad, nucleares e hidráulicas; la matriz

eléctrica en este escenario se ha orientado hacia dichas tecnologías, lo cual genera una gran dependencia de los combustibles fósiles. Este hecho, repercute sobre la demanda de energía primaria que, tal como se observa en la Figura 22, en todo el período no logra diversificar el uso de las fuentes, siendo creciente el uso de petróleo y gas natural, los cuales abarcan prácticamente la totalidad de la oferta primaria. Por su parte, considerando los costos de inversión, mantenimiento y de combustibles incorporados en el modelo, se obtuvo el costo de la generación eléctrica resultante de la matriz, que resultó en 59 USD/MWh. Este valor servirá para ser contrastados con aquellos que se obtengan de la construcción de escenarios alternativos que cuenten con matrices eléctricas orientadas a tecnologías que no se basen en los combustibles fósiles.

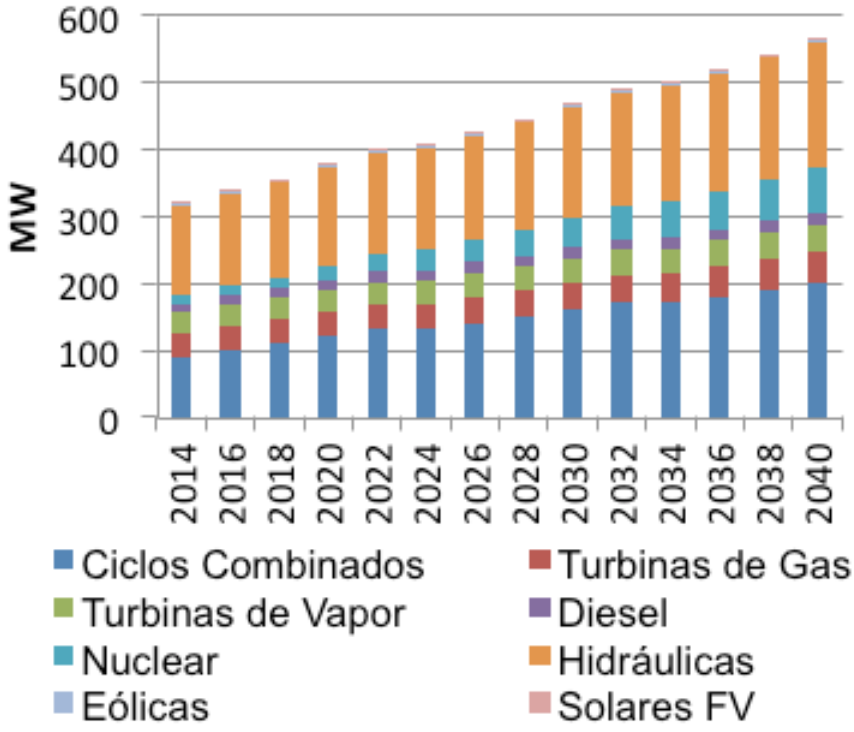


Ilustración n. 20 Potencia instalada (MW) en centrales eléctricas (2014-2040). Elaboración propia.*****

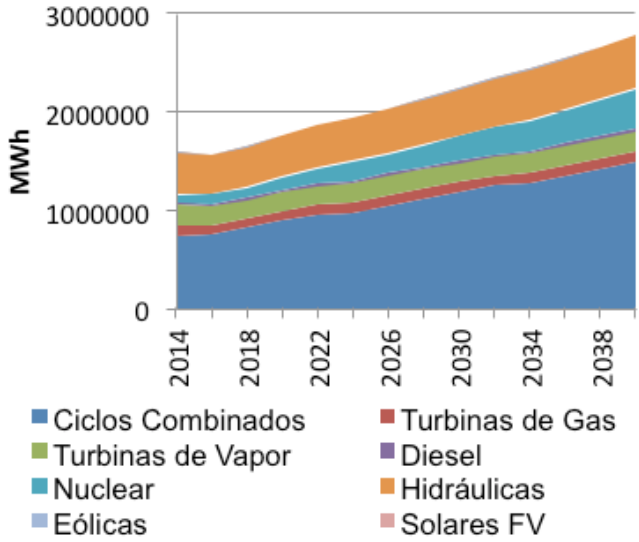


Ilustración n. 21 Generación anual de energía eléctrica (2014-2040). Elaboración propia.*****

En consecuencia, para la cobertura y abastecimiento de la demanda simulada, y considerando las diferentes eficiencias de las cadenas de producción, se obtiene un requerimiento de energía primaria para el 2014 de 39,66 PJ y para 2040 de 65,03 PJ (+63,9%) (Figura 22), los cuales deberán ser cubiertos por: gas natural (54,3%); petróleo (34,6%); energía hidráulica (3,3%); uranio (6,8%) y otros (1%). Por su parte, respecto de las emisiones de gases de efecto invernadero (Figura 23), es posible cuantificar el aporte del sistema durante el período simulado. Realizando la sumatoria de todos los años, se encuentra que se emitirían unas 68,49 millones de toneladas de CO_2 equivalente (utilizando la base de datos del IPCC Tier 1 contenida en el software LEAP).

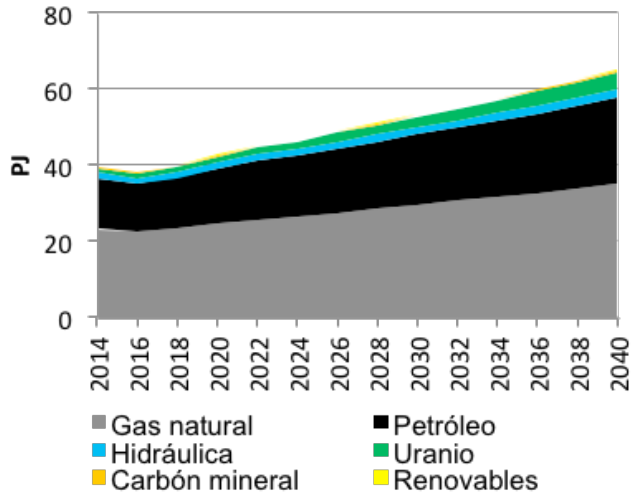


Ilustración n. 22 Evolución del requerimiento de energía primaria para 2014-2040. Elaboración propia.*****

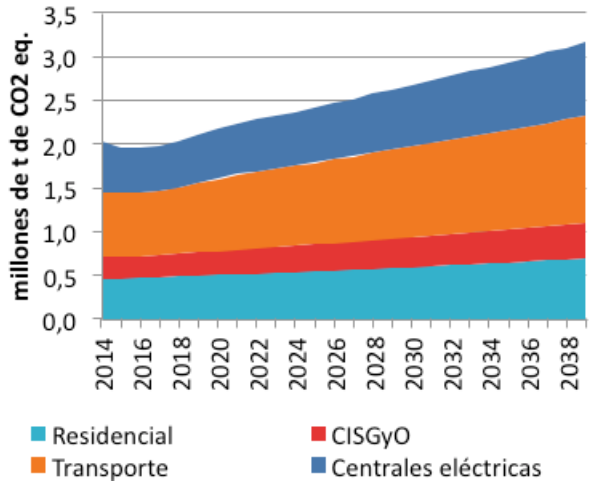


Ilustración n. 23 Emisiones de gases de efecto invernadero para el período 2014-2040. Elaboración propia.*****

Finalmente, una vez construido el escenario “tendencial” es posible obtener el balance de energía para cualquier año de la serie temporal. En este caso, en la Figura 24 se muestra el diagrama de flujo (Diagrama de Sankey) correspondiente al año 2040, que sintetiza la oferta, los centros de transformación y la demanda “tendencial”.

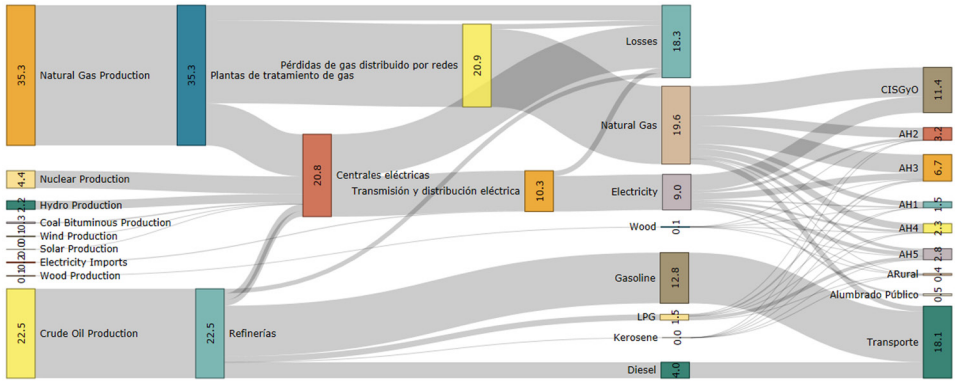


Ilustración n. 24 Diagrama de Sankey: Escenario “tendencial” año 2040. Unidad: PJ. Elaboración propia.*****

El análisis de los resultados puede profundizarse tanto como se desee, sin embargo la importancia del presente estudio radica en la verificación de la metodología propuesta y en la obtención del modelo del escenario urbano-energético “tendencial” de la ciudad de La

Plata, lo cual permitirá construir un escenario “eficiente”, donde se ensayarán medidas de mejoramiento energético particulares para cada AH.

6 Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió validar la aplicación de la metodología propuesta a partir de su implementación en un caso de estudio concreto y, en consecuencia, la posibilidad de ser replicada a otras ciudades intermedias con sus correspondientes adecuaciones.

Asimismo, a partir de los resultados obtenidos fue posible identificar la versatilidad que ofrece la presente metodología al momento de contrastar escenarios. En este sentido, las salidas que ofrece el modelo permiten cuantificar cantidades de energía neta demandada, requerimientos de energía primaria, costos de generación, emisiones de GEI, determinar matrices eléctricas de generación y contabilizar el consumo de combustible de las mismas, entre otros aspectos. Esto brinda numerosas herramientas a la hora de evaluar la inserción de medidas de eficiencia energética en el territorio, lo será posible de realizar en futuros trabajos.

Otro aspecto destacable de la metodología es la posibilidad de diagramar el balance de energía del área de estudio, lo que permitirá evaluar la incidencia de la incorporación de medidas de mejoramiento energético en diferentes puntos de la cadena de producción. Por lo cual, bajo el contexto de la actual matriz energética argentina, que es fuertemente dependiente del gas, es posible evaluar el impacto de un conjunto de medidas orientadas hacia la demanda eléctrica (por ejemplo: sustitución de cocinas a gas por cocinas a inducción; incorporación de movilidad eléctrica, etc.) y obtener tanto el propio ahorro de electricidad como el de gas natural para su generación, lo cual significa un nivel de análisis muy importante a la hora de la toma de decisiones.

Por último, y focalizando en el sector residencial, que fue el sector que se modeló de forma desagregada a modo de ejemplo, se entiende que si a futuro el Estado nacional o provincial decide implementar las estrategias de mejoramiento energético que mayor impacto presentan, como el reciclado edilicio, la incorporación directa de sistemas de energías renovables, sustitución de equipos, entre otras opciones; su aplicación deberá contar con un abordaje prospectivo territorial, como el que propone el presente trabajo. Es decir que se deberán tomar en consideración los aspectos socio-demográficos, morfológicos-urbanos y de equipamiento de los distintos sectores de la ciudad, para, así, construir y comparar escenarios que permitan seleccionar las medidas de mayor impacto o mejor rendimiento en términos de costo-beneficio presenten. De esta manera, se podrían orientar los recursos de una manera más eficiente y precisa y, finalmente, mejorar los patrones de consumo y la habitabilidad.

En síntesis, entendemos que el presente estudio aporta al cuerpo de investigaciones existentes una metodología con un enfoque integral (oferta y demanda), que cuenta con

desagregación territorial y que, a su vez, tiene una mirada prospectiva que permite incorporar la dinámica urbana, económica, social y energética; lo que permite generar estimaciones más precisas respecto de los diagnósticos urbano-energéticos estáticos.

Bibliografía

ABDURAFIKOV, R., GRAHNA, E.; KANNARI, L., YPYÄ, J., KAUKONENC, S. HEIMONENA, I., y PAIHOA, S. An analysis of heating energy scenarios of a Finnish case district. En: *Sustainable Cities and Society.* 2017, nº32, pp. 56–66. [https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.015]

CAMUZZI S.A. "Información operativa de la empresa en el área de La Plata, Berisso y Ensenada". Ensenada: Camuzzi Gas Pampeana S.A, 2000.

CAMUZZI S.A. "Base de datos con información anónima de 14.717 medidores de gas natural residencial de la ciudad de La Plata, serie temporal 1995-2014 e información complementaria". Ensenada: Camuzzi Gas Pampeana S.A., 2000.

CHÉVEZ, P. *Energías renovables y eficiencia energética. Análisis de medidas orientadas al sector residencial.* Buenos Aires: Diseño, 2017.

CHÉVEZ, P. *Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial*. [Tesis de Doctorado en Ciencias]. Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas, 2018.

CHÉVEZ, P.; MARTINI, I. Y DISCOLI, C. Methodology developed for the construction of an urban-energy diagnosis aimed to assess alternative scenarios: An intra-urban approach to foster cities' sustainability. En: *Applied Energy.* 2019a, nº 237, pp. 751-778. [https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.037]

CHÉVEZ, P.; MARTINI, I. Y DISCOLI, C. Desarrollo metodológico para la construcción de escenarios urbano-energéticos de largo plazo. En: *Cuaderno Urbano.* 2019b, nº26, pp. 69-107. [http://dx.doi.org/10.30972/crn.26263791]

CORTEKAR, J., BENDER, S. y GROTH, M.. Why climate change adaptation in cities needs customized and flexible climate services. En: *Climate Services.* 2016, nº4, pp. 42-51. [https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.11.002]

DISCOLI, C. *Metodología para el diagnóstico urbano-energético-ambiental en aglomeraciones intermedias. El caso del Gran La Plata.* La Plata: Editorial Universitaria de La Plata, 2009.

DPE. *Censo Nacional de Población, Familias y Vivienda 1970. Fasc. 1: Área de dinámica propia La Plata.* La Plata: Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires. Dirección Provincial de Estadística, 1971.

DPE. “Proyecciones de población por Municipio. Provincia de Buenos Aires 2010-2025”. La Plata: Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires. Subsecretaría de Coordinación Económica. Dirección Provincial de Estadística, 2016.

DROUILLES, J., LUFKIN, S. y REY, E. Energy transition potential in peri-urban dwellings: Assessment of theoretical scenarios in the Swiss context. En: *Energy and Buildings.* 2017, nº 148, pp.379–390. [http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.033]

FMI. *World Economic Outlook Database. World Economic and Financial Surveys.* International Monetary Fund: Washington D.C., 2016. [https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/02/weodata/weoselgr.aspx]

GARRIDO-SORIANO, ROSAS-CASALS, IVANCIC y ALVAREZ-DEL CASTILLO. Potential energy savings and economic impact of residential buildings undernational and regional efficiency scenarios. A Catalan case study. En: *Energy and Buildings.* 2012, nº 49, pp. 119–125. [https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.030]

GHIASSI, N. y MAHDAVI, A. Reductive bottom-up urban energy computing supported by multivariate cluster analysis. En: *Energy and Building*. 2017, nº 144, pp. 372–386. [https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.004]

GIRARDIN, L., MARECHAL, F., DUBUIS, M., CALAME-DARBELLAY, M. y FAVRAT, D. EnerGis: A geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas. En: *Energy.* 2012, nº35, pp. 830–840. [10.1016/j.energy.2009.08.018]

GODET, M.. *La Caja de Herramientas de la Prospectiva Estratégica.* Paris: Laboratoire d’Investigation Prospective et Stratégique, 2000.

HOWARD, B., PARSHALL, L., THOMPSON, J., HAMMERB, S., DICKINSOND, J. y MODIA, V. Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. En: *Energy and Buildings.* 2012, nº45, pp. 141–151. [698 10.1016/j.enbuild.2011.10.061]

IAS. “Programa de conservación de la energía en la vivienda. Plan piloto de evaluaciones energéticas de la zona de Capital Federal y Gran Buenos Aires. Sumario ejecutivo”. La Plata: Instituto de Arquitectura Solar, 1987.

IEA. *Indicadores de Eficiencia Energética: bases esenciales para el establecimiento de políticas*. International Energy Agency: Paris, 2015.

INDEC. *Censo Nacional de Población, Familias y Vivienda de 1970.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires, 1973.

INDEC. *Censo Nacional de Población y Vivienda 1980. Serie B. Características generales. Provincia de Buenos Aires.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires, 1982.

INDEC. *Censo Nacional de Población y Vivienda 1991. Serie C. Características generales. Provincia de Buenos Aires. Resultados definitivos.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires, 1994.

INDEC. *Encuesta de comercios de electrodomésticos y artículos para el hogar.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires, 2017.

KHATIB, T.; MONACCHI, A.; ELMENREICH, W.; EGARTER, D.; D'ALESSANDRO, S. y TONELLO, A. European end-user's level of energy consumption and attitude toward smart homes: a case study of residential sectors in Austria and Italy. En: *Energy Technology & Policy.* 2014, nº 1, pp. 97-105. [10.1080/23317000.2014.977406]

LIU, X.; MAJUNFANG, S.; NINGJIA, T y LI, G. A system dynamics approach to scenario analysis for urban passenger transport energy consumption and CO2 emissions: A case study of Beijing. En: *Energy Policy.* 2015, nº 85, pp. 253-270.

MENEZES, E; GORI, A.; CRISTIANE, M. y CARVALHO, S. Effectiveness of low-carbon development strategies: Evaluation of policy scenarios for the urban transport sector in a Brazilian megacity. En: *Technological Forecasting and Social Change.* 2017, nº 114, pp. 226-241. [https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.016]

MINEM. "Informe Estadístico del Sector Eléctrico 2014. Capítulo 3. Distribución de Energía Eléctrica Facturada y Cantidad de Usuarios por tipo y por jurisdicción provincial". Buenos Aires: Ministerio de Energía y Minería, 2017a.

MINEM. "Precios en bocas de expendio. Resolución Secretaría de Energía 1104/04". Buenos Aires: Ministerio de Energía y Minería, 2017b. [http://RES1104.SE.GOB.AR/CONSULTAPRECIOS.EESS.PHP]

MINPLAN. "Plan energético nacional 2004-2019". Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2014.

OCDE. *OECD Economic Outlook, Volume 2012. Issue 1.* París: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2012.

ONU. *World Urbanization Prospects.* Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 2014.

OUYANG, X. y LINB, B. Analyzing energy savings potential of the Chinese building materials industry under different economic growth scenarios. En: *Energy and Buildings.* 2015, nº 109, pp. 316-327. [10.1016/j.enbuild.2015.09.068]

REDATAM. *Base de datos REDATAM SP. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001.* Buenos Aires: INDEC, 2017a. [http://200.51.91.245/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=CPV2001ARG]

REDATAM *Base de datos REDATAM SP. Cuestionario básico Censo 2010.* Buenos Aires: INDEC, 2017b. [http://200.51.91.245/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=CPV2010B]

RODRÍGUEZ, L. *Instrumentación metodológica para el reciclado masivo de la edilicia residencial orientada a la eficiencia energética.* [Tesis de Doctorado en Ciencias] Exactas de la Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas, 2015.

ROSENFELD, E. "Políticas de uso racional de la energía en el área metropolitana y sus efectos en la dimensión ambiental. URE AM (2000/2002)". La Plata: PIP CONICE, 1999.

ROUX, C.; SCHALBART, P.; ASSOUMOU, E. y PEUPORTIER, B. Integrating climate change and energy mix scenarios in LCA of buildings and districts. En: *Applied Energy.* 2016, nº184, pp. 619-629. [10.1016/j.apenergy.2016.10.043]

RUGGERI, E. y GARRIDO, S. La reforma neoliberal del sistema eléctrico argentino. En: *Tecnologia e Sociedade.* 2019, vol. 15, nº37, pp. 598 – 615. [10.3895/rts.v15n37.9805]

SANDBERG, N.; SARTORI, I. y BRATTEBØ, H. Sensitivity analysis in long-term dynamic building stock modeling. Exploring the importance of uncertainty of input parameters in Norwegian segmented dwelling stock model. En: *Energy and Buildings*, nº 85, pp.136-144. [10.1016/j.enbuild.2014.09.028]

SANDBERG, N.; SARTORI, I.; VESTRUM, M. y BRATTEBØ, H. Sensitivity analysis in long-term dynamic using a segmented dynamic dwelling stock model for scenario analysis of future energy demand: the dwelling stock of Norway 2016–2050. En: *Energy and Buildings.* 2014, nº 146, pp. 220-232. [10.1016/j.enbuild.2017.04.016]

SECRETARÍA DE ENERGÍA. "Escenarios Energéticos 2025. Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos. Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos. Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico". Buenos Aires: Secretaría de Energía, 2016.

SEOK KWON, P. y ØSTERGAARD, P. Assessment and evaluation of flexible demand in a Danish future energy scenario. En: *Applied Energy.* 2014, nº134, pp.309-320. [10.1016/j.apenergy.2014.08.044]

WEC. *Perspective input into the World Energy Council Scenarios: "Innovating Urban Energy"*. Londres: World Energy Council, 2016.

Anexo 1

Grupos de consumo de energía eléctrica	"Año base"			Escenario "tendencial"		
	Penetración	Consumoopromedio uso (expandido) kWh/año	Consumo por vivienda expandido (expandido) kWh/año	Penetración	Consumoopromedio uso (expandido) kWh/año	Consumo por vivienda expandido (expandido) kWh/año
1.1. Climatización 1. Estufas eléctricas/ventilador	1.14	291.29	332.58	1.15	386.09	444.31
1.2. Climatización 2. AºAº individual	0.59	426.46	252.64	1.10	367.97	403.27
1.3. Climatización 3. AºAº central	0.03	3261.80	90.83	0.05	3311.10	165.55
2. Cocción	0.62	115.03	71.05	0.80	116.76	93.41
3. Agua caliente Sanitaria	0.07	1099.57	80.73	0.07	1116.18	81.95
4. Refrigeración de alimentos	1.28	457.96	585.49	1.50	365.80	547.14
5. Iluminación	6.91	52.41	362.10	8.87	46.13	408.99
6. Lavado de ropa	1.11	203.43	225.58	1.35	171.22	230.60
7. Informática y celulares	3.28	132.49	434.37	3.81	129.17	491.87
8. Televisión, audio y video	2.41	79.38	191.12	1.74	84.15	146.41
9. Otros electrodomésticos	0.96	244.80	235.51	0.96	497.01	478.14
Total			**2862.00**			**3491.64**

Grupos de consumo de gas natural	"Año base"			Escenario "tendencial"		
	Penetración	Consumo promedio uso m^3/año	Consumo por vivienda m3/año	Penetración	Consumo promedio uso m^3/año	Consumo por vivienda m^3/año
1. Climatización	1.23	542.05	668.31	1.05	690.20	724.45
2. Cocción	0.96	222.48	214.03	0.96	223.03	214.56
3. Agua caliente sanitaria	0.93	395.71	369.67	0.93	396.69	370.58
Total			**1252.00**			**1309.59**

Grupos de consumo de combustibles a granel	"Año base"		Escenario "tendencial"	
	Combustible	Consumo por vivienda MJ/año	Combustible	Consumo por vivienda MJ/año
1. Climatización	Leña	1,357.604	Leña	1,357.604
	Kerosene	77.831	Kerosene	77.831
	GLP	1,610.493	GLP	1,610.493
2. Cocción	GLP	9,223.731	GLP	9,223.731
3. Agua caliente sanitaria	GLP	3,806.619	GLP	3,806.619
Total		**16,076.279**		**16,076.279**