

E-arquetipos del parque habitacional uruguayo hacia el etiquetado energético de viviendas

MARÍA NOEL LÓPEZ SALGADO, LUCÍA PEREIRA-
RUCHANSKY Y LUCÍA GUTIÉRREZ BAZTERRICA

PALABRAS CLAVE

PARQUE DE VIVIENDAS; EVALUACIÓN ENERGÉTICA;
CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA; TIPOLOGÍA EDIFICATORIA

María Noel López Salgado

Magíster en Ciencias Ambientales y diplomada en construcción sustentable. Arquitecta por la Universidad de la República. Profesora adjunta del Área de Clima y Confort del Instituto de Tecnologías (FADU-Udelar) desde el año 2003. Primer Premio Aroztegui de Arquisur investigadores formados. Ha participado en diversos proyectos de investigación vinculados con la eficiencia energética y el confort ambiental en distintas edificaciones.

Resumen

Para avanzar en el desarrollo de un modelo de evaluación energético de viviendas que permita adoptar criterios científico-técnicos, es imprescindible conocer la demanda energética del parque habitacional. En el trabajo que aquí se presenta, se elaboró y discutió una metodología para caracterizar energéticamente dicho parque. A pesar de la falta de datos completos y/o accesibles, fue posible definir 32 geometrías representativas y, además, asignarle elementos característicos a cada una de ellas: tipo de construcción, edad de la construcción, sistema constructivo y nivel socioeconómico de sus habitantes. Estos tipos que se repiten constituyen modelos arquetípicos. La caracterización de las viviendas en los aspectos que afectan su desempeño energético es central para el desarrollo de políticas e investigaciones en la materia. La sistematización de esta información y la generación de estos modelos pueden constituirse en una herramienta sencilla tanto para conocer la demanda energética actual del parque existente y las condiciones de confort de los habitantes como para orientar en materia de políticas públicas; además, brindaría información a usuarios, diseñadores y arquitectos, posibilitando la toma de decisiones de manera informada a la hora de comprar, diseñar o realizar mejoras en una vivienda.

Introducción

El sector energético es uno de los principales responsables de los impactos humanos negativos a escala mundial. Estos se relacionan con las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por la generación de energía (International Energy Agency, 2013). El Panel Internacional sobre el Cambio Climático —IPCC, por sus siglas en inglés— estableció que la reducción del consumo de energía y la búsqueda de fuentes alternativas de energía —entre ellas, las renovables— son dos tareas urgentes para disminuir los efectos del cambio climático (IPCC, 2014).

En Uruguay, el sector residencial representa el 18% del consumo de energía, con una tendencia en aumento, de acuerdo al Balance Energético Nacional (Ministerio de Industria, Energía y Minería, 2020). Por lo dicho, la reducción del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero resulta ser un tema de investigación actual. Según la Agencia Internacional de Energía de los Estados Unidos (2020), el aumento en el consumo de energía será mayor en los países en desarrollo. En nuestro país, según los datos del Ministerio de Industria, Energía y Minería (2020), el consumo total del sector residencial se incrementará anualmente un 2%, aproximadamente.

Geraldi (2021) establece que analizar el parque habitacional de un país permite estimar una línea de base de la demanda de energía de los edificios existentes, explorar los efectos técnicos y económicos de las diferentes estrategias de mejora e identificar el efecto de las estrategias para mejorar la eficiencia y la calidad del ambiente interior. El etiquetado energético de edificios se plantea como un método adecuado para evaluar el rendimiento energético de edificios existentes o futuros, porque permite la comparación entre pares y es el paso previo para tomar decisiones en políticas energéticas habitacionales. Li et al. (2017) presentan una revisión de los modelos energéticos, distinguiendo dos grandes tipos de modelos: *top-down* y *bottom-up*. El primero utiliza el consumo total estimado del sector residencial y otras variables pertinentes para atribuir el consumo a características de todo el sector. Por el contrario, los modelos *bottom-up* calculan el consumo energético para edificios individuales y luego extrapolan esos resultados para representar una región o un país.

En los modelos *top-down*, el sector residencial se trata como una entidad energética única y las proyecciones de demanda se determinan relacionando consumo energético con diversos factores, como cambios en Producto Bruto Interno, precio de la energía, población, tamaño de vivienda, tecnologías, condiciones climáticas, etc. (Li et al., 2017; Pérez-García y Moral-Carcedo, 2016). En definitiva, los modelos *top-down* requieren relativamente poca información y permiten analizar efectos de corto plazo, aunque no son útiles para evaluar cambios tecnológicos o para estudiar el efecto de medidas de eficiencia energética, puesto que pueden arrastrar errores importantes (Kavgic et al., 2010). Sin embargo, en los modelos *bottom-up*, el consumo energético se determina sobre la base de datos de edificios individuales; luego los resultados se pueden extrapolar para representar el total del parque habitacional.

Esto implica la definición de arquetipos energéticos —*E*-arquetipos—, que consisten en edificios utilizados para representar un grupo de viviendas con propiedades similares cuyas características afectan su demanda de energía (Reyna et al., 2022). Tal como definen Ballarini, Corgnati, Corrado y Talà (2011), el arquetipo no es un edificio real, es un edificio «virtual» caracterizado por un conjunto de propiedades detectadas estadísticamente en una categoría de edificio. Yang et al. (2022) realizan una clasificación *bottom-up* del parque habitacional de los Países Bajos, con base en edificios individuales caracterizados por una serie de atributos: edad de la construcción, geometrías, propiedades térmicas de la envolvente, comportamiento de ocupantes, ventilación natural y artificial, sistemas de calefacción, sistemas fotovoltaicos, demanda de energía y composición de materiales. También en Europa se encuentra el proyecto Tabula (Intelligent European Energy Program, 2012), en el que cada país participante estableció una clasificación tipológica de sus edificios en función de características energéticas. El principal resultado del proyecto es una herramienta *web* interactiva de clasificaciones tipológicas para el asesoramiento energético, la evaluación energética o la comparación de los diferentes países. Para un análisis energético del parque habitacional de EEUU, Reyna et al. (2022) realizan una revisión de los estudios para caracterizar las tipologías de un país, concluyendo que siguen una metodología similar:

1. segmentación de viviendas en función de características disponibles (antigüedad, tipo de edificio);
2. selección en función de criterios relevantes (demanda energética de la vivienda);
3. caracterización estadística de cada segmento de tipología seleccionada;
4. modelado energético de cada vivienda.

Entonces, es central definir modelos que representen a las viviendas existentes; otros países de nuestra región ya hace tiempo que han comenzado con esta tarea. En Brasil se destacan los trabajos de Carlo y Lamberts (2010) y de Silva, Almeida y Ghisi (2016), en los que fueron analizadas viviendas a través del establecimiento de tipologías representativas del parque habitacional, que posteriormente sirvieron de base para el etiquetado brasileño de viviendas.

Hacia una caracterización energética del parque habitacional uruguayo.

A partir de la experiencia internacional, se obtiene que es necesario resumir el parque habitacional en *E*-arquetipos, que se repiten y que representan un grupo de edificios con propiedades similares (Reinhart y Cerezo Davila, 2016; Reyna et al., 2022). Para ello, tal como señala Sepúlveda (2005), es necesario construir una base de datos que registre y represente la mayor cantidad de información posible a nivel de propiedades individuales. En este trabajo se presenta una síntesis del enfoque *bottom-up* basado en la física de edificaciones identificadas como

representativas del parque habitacional, considerando su predominio estadístico en cada caso. Se relevaron y estudiaron los datos disponibles en los principales organismos estatales: Instituto Nacional de Estadística [INE], Intendencia de Montevideo [IM] y Dirección Nacional de Energía. Asimismo, se efectuaron consultas al ex-Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente [Mvotma], específicamente, a la Agencia Nacional de Vivienda, sin obtener acceso a información sistematizada. Sobre la base de la información recabada, se propusieron la metodología y los *E*-arquetipos que se presentan. Debido a la gran variedad de características que presentaban las viviendas, no fue sencillo caracterizar el parque habitacional, por lo que, para representarlo, muchas veces se tuvieron que simplificar los datos. El trabajo fue realizado en el marco de un proyecto de investigación financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación y ejecutado en forma conjunta entre la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, la Facultad de Ingeniería y el Centro Universitario Regional Norte de la Universidad de la República.

Objetivo general

- Clasificar tipológicamente el parque habitacional del país para su posterior evaluación energética —demanda y confort—, con el fin de aportar información tanto para la definición de políticas energéticas habitacionales como para su integración en las consideraciones de diseño por parte de los técnicos

Objetivos particulares

- Elaborar una metodología para la modelización del parque de viviendas, a partir de identificar el estado actual del arte, los enfoques y los métodos de evaluación comparativa.
- Elaborar *E*-arquetipos representativos de las variantes tipológicas existentes en el parque habitacional nacional, para la evaluación energética futura, mediante herramientas de simulación.

Metodología

Caracterizar el parque habitacional existente para su análisis energético requiere identificar los principales aspectos que hacen a su desempeño. Según Wilson y Dowlatabadi (2007), estos pueden clasificarse en aspectos contextuales y conductuales.

A. Aspectos contextuales

Existen en esta área condicionantes externas a la vivienda, como ubicación geográfica, clima local, mercado energético y tipo de electrodomésticos, y condicionantes internas características de la vivienda, que pueden agruparse en calidad de la construcción y de la instalación eléctrica. Aportando a este segundo grupo, Ballarini et al. (2011) realizan la siguiente discriminación: localización, tipología, antigüedad, geometría, área, número de pisos, superficie expuesta, materialidad y transmitancia térmica de la envolvente.

A. Aspectos conductuales

La demanda de energía se vincula normalmente a características socioeconómicas, asociadas a estilos de vida y comportamiento de consumo (Lutzenhiser, 1992). El número de ocupantes, rango etario y nivel educativo, tiempo de ocupación y usos alternativos que el hogar pueda tener, inciden sobre el uso y los niveles de demanda energética.

Considerando esta clasificación, se presentan los criterios utilizados para la determinación de los arquetipos edificatorios.

A. Aspectos contextuales

A1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación geográfica determina el clima al que está expuesta la edificación y, en consecuencia, tiene un alto impacto en su demanda energética para acondicionamiento térmico, pero, además, la ubicación de la residencia puede afectar la disponibilidad de recursos energéticos a la hora de consumir. Según la clasificación climática de Köppen (1918), Uruguay presenta un clima del tipo «Cfa», correspondiente a templado y húmedo. De acuerdo a la norma UNIT 1026:99 (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 1999), el territorio nacional se divide en tres zonas climáticas, con tendencia a mayores temperaturas del aire en las localidades ubicadas más hacia el norte del país. Sin embargo, el trabajo realizado para la generación de los Años Meteorológicos Típicos [AMT] y otros datos meteorológicos, identifica cinco zonas representadas por los AMT de las ciudades de Salto, Rivera, Colonia, Montevideo y Rocha. Siendo que los estudios de simulación energética se basan en los AMT, se identifican las localidades en relación a las zonas climáticas y al rango de acción de los AMT existentes. Para este trabajo, se cuantifican y clasifican las viviendas existentes de acuerdo al Censo (INE, 2011) según su ubicación y su clasificación en tanto viviendas rurales o urbanas. Estos números se extrapolan al año 2018.

A2. ENTORNO

Las características de ocupación del padrón (apareamiento y distancia entre viviendas), la proximidad de arbolado, obstrucciones y la orientación de la trama urbana en la que se implanta la vivienda, determinan de qué forma está expuesta a la radiación solar y al viento; por tanto, tendrán gran impacto en su desempeño energético.

Para analizar el entorno, se seleccionan sesenta manzanas (treinta del damero central y treinta de la periferia) aleatorias de cada ciudad representativa por región climática, a través de fotos aéreas de Google Maps e imágenes de Street View.

Se tomaron los siguientes criterios de análisis para determinar la probabilidad de ocurrencia de:

- DENSIDAD DE ARBOLADO
Para determinar la probabilidad de encontrar el área verde, se cuantifica el sector que ocupa el área construida y el área vegetal.
- MEDIANERÍA
En las manzanas se analiza la presencia de medianeras: sin medianeras —es decir, viviendas exentas—; las que tienen dos medianeras, y las que tienen tres medianeras.
- ORIENTACIÓN SOLAR DE LA TRAMA URBANA
Se consideran las orientaciones en las que se pueden ubicar viviendas en las ciudades elegidas.
- LOCALIZACIÓN EN ALTURA
Se cuantifica a partir de fotos la probabilidad de que el modelo analizado sea un piso intermedio o un último piso. Esta variable se analiza en función de la cantidad de niveles que podría tener el edificio.
- OBSTRUCCIONES DEL ENTORNO CONSTRUIDO
Se analiza y determina la ocurrencia de tener una obstrucción frontal o lateral.

A3. TIPOS EDIFICIOS

La demanda de energía residencial varía según los diferentes tipos edificatorios, debido a la relación entre el área expuesta y el volumen interior. Esta diferencia es a menudo más significativa entre edificios residenciales unifamiliares y multifamiliares (Kaza, 2010). Ewing y Rong (2008), analizando las tipologías de vivienda en 50 estados de Estados Unidos —con diversidad de climas, según la clasificación de Köppen (1918)—, mostraron que los hogares que viven en unidades unifamiliares separadas consumen un 54% más de energía para calefacción y un 26% más para enfriamiento en comparación con los hogares que viven en unidades multifamiliares. Por su parte, Kavousian, Rajagopal y Fischer (2013) indicaron que los hogares que viven en apartamentos multifamiliares tienen los consumos máximos diarios más bajos, seguidos por las viviendas urbanas entre medianeras y, por último, las viviendas independientes.

En este trabajo, la representación de los distintos tipos edilicios del parque habitacional, en tanto casa u apartamento, se obtuvo a partir de los datos del Censo 2011 (INE, 2011), y estos datos se extrapolaron al año 2018.

A4. ANTIGÜEDAD DE LA VIVIENDA

Las prácticas constructivas, los materiales empleados y las normas de construcción varían a través del tiempo. Por tanto, la antigüedad de la vivienda es un dato que permite orientar en la caracterización de la conformación tipológica y materialidad utilizada en las viviendas de un período. La antigüedad de las construcciones en Uruguay es relevada a partir de la EGIH 2005-2006 por Task et al. (2011). Las categorías empleadas en el trabajo fueron: antigüedad menor o igual a 10 años, entre 10 y 30 años, mayor a 30 años. Se eligen estos criterios porque coinciden con cambios constructivos y normativos significativos. En los años 90, el Banco Hipotecario del Uruguay [BHU] establece un primer requisito sobre la transmitancia térmica máxima de paredes y techo para evitar las condensaciones. En el 2010 la Intendencia de Montevideo estableció condicionantes a la envolvente de la edificación: un coeficiente máximo de transmitancia térmica en techo y muros y porcentaje de huecos, protecciones solares y transmitancia máxima de vidrios. También en el año 2011 se establece el reglamento de productos para vivienda social, en el que se exige una transmitancia térmica máxima de la envolvente.

A5. TAMAÑO DE LA VIVIENDA

Kavousian et al. (2013) estudiaron 140 ciudades estadounidenses, de 28 tipos de clima distintos definidos según el Departamento de Energía de los Estados Unidos (2011), incluyendo el clima templado y húmedo. En este estudio se tomaron los datos de consumo de energía eléctrica y se analizaron las tipologías de viviendas, concluyendo que el tamaño del edificio tiene efecto sobre el consumo mínimo y máximo diario de energía eléctrica.

Los tamaños de la vivienda en Uruguay se obtienen de los datos analizados por Taks et. al. (2011). A los fines del estudio energético, se establecen categorías de tamaño, más amplias que las originales de la EGIH, agrupando en tres categorías: menor o igual a 40 m², entre 40 m² y 70 m² y mayor a 70 m². Para esta definición se consideran las categorías de viviendas de Montevideo e interior urbano, descartando las categorías interior pequeño y rural debido a su escasa información. Este dato se cruza con datos censales (INE, 2011), generando la clasificación integral por tamaño, tipo y región climática.

A6. GEOMETRÍA

La definición de la geometría de una vivienda implica conocer los planos de la edificación, necesariamente depende del tipo —casa o apartamento— y tamaño de la vivienda, también de la antigüedad y el decil socioeconómico de sus ocupantes. Para poder estudiar adecuadamente el comportamiento energético, es necesario definir geometrías representativas. Para ello se consideró que para

casos con iguales características —tipo y tamaño— se deben tener, dentro de lo posible, diferentes conformaciones geométricas. Para determinar las geometrías se utilizaron planos de programas habitacionales públicos y casos de vivienda particular.

A7. MATERIALIDAD DE LA VIVIENDA

La materialidad de la envolvente es determinante en el desempeño energético de las edificaciones, ya que define los intercambios de calor que se producen entre el interior y el exterior. La información sistematizada disponible en relación a la materialidad de las viviendas se encontró en datos del Censo 2011 y en la Dirección Nacional de Catastro. Si bien de estos datos se desprende que predominan las viviendas construidas en sistema pesado (INE, 2011), esta información es insuficiente para determinar los materiales que componen las envolventes del *stock* de viviendas construidas. En ausencia de una base de datos detallada de las características materiales del parque habitacional, se consideran como dato principal la antigüedad de las construcciones y el decil socioeconómico de sus ocupantes. Una vez caracterizadas la antigüedad de las construcciones y el decil de los ocupantes, se toma como referencia la solución de envolvente adoptada en programas habitacionales públicos y algunas viviendas particulares, en función de su período de construcción y de los deciles de sus ocupantes.

B. Aspectos conductuales

B1. OCUPACIÓN

La caracterización energética de un edificio está afectada por el aporte de calor: del equipamiento, de sus ocupantes y de sus prácticas de ocupación. La información sobre la cantidad de personas que habitan las viviendas, discriminadas por nivel socioeconómico, se obtuvo de la Encuesta Nacional de Hogares Ampliada - Módulo de Vivienda (Casacuberta, 2006). A partir de estos datos se propuso una distribución de la cantidad de habitantes por vivienda en relación a su área. En cuanto a las prácticas de ocupación (cómo se ocupan los espacios —usos—, tiempo de permanencia y horario, cargas de iluminación y equipamiento), dada la dificultad de establecer una ocupación característica, se tomó como referencia la norma ABNT NBR 15575 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013), debido a la similitud con estudios precedentes en los que se relevó la ocupación de las viviendas en conjuntos habitacionales estatales (Picción, Camacho, López Salgado y Millicua, 2008).

B2. NIVEL DE INGRESO DE LAS FAMILIAS

Existen investigaciones que relacionan las áreas de las viviendas y la antigüedad de las mismas con los niveles de ingreso del hogar, expresados en deciles (Taks et al., 2011). A los fines de este trabajo, se consideran categorías de deciles agrupados: 1-4, 5-7 y 8-10.

Resumiendo la metodología utilizada para la identificación de *E*-arquetipos, se cuantifica la cantidad de viviendas según su localización en los departamentos del país y los tipos edificatorios —casa o apartamento—, utilizando los datos del INE. Estos datos se cruzan con los de la EGIH de decil socioeconómico, antigüedad y tamaño, definiendo las geometrías necesarias para representar el parque de viviendas. La materialidad se define según la antigüedad, el decil de ingresos y los planos de los programas públicos de vivienda y casos particulares. Mientras que el entorno es definido por estudio estadístico en las ciudades de referencia. Finalmente, del cruce de geometrías, materialidad y entorno, y la ocupación definida por deciles, resultan los arquetipos representativos. El caso de estudio para el análisis energético se conforma del arquetipo situado en una ciudad de referencia.

Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología construida, determinando el conjunto de arquetipos de vivienda.

Caracterización del parque habitacional existente

En primer lugar, se obtuvo la distribución geográfica de las viviendas. Tal como se resume en la Figura 1, se clasificaron las localidades en cuatro zonas: las tres primeras corresponden a la zonificación del clima local de Uruguay, UNIT 1026:99 (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 1999), mientras que la cuarta corresponde a Montevideo, por concentrar la mayor parte de las viviendas del país. Para cada localidad se asocia un Año Meteorológico Típico de referencia.

En relación a la distribución de las viviendas en el territorio, se puede afirmar en base a los datos del INE (2011), con un error inferior al 5%, que el total de viviendas particulares ocupadas en el país es de 1133910. Considerando que el incremento anual de viviendas ocupadas promedio es de 17305 en los tres últimos censos, la cantidad de viviendas ocupadas actualizadas al 2018 (fecha de inicio del estudio) sería de 1180565 viviendas.

De este análisis se toman dos datos de partida: la mayoría de las viviendas son urbanas —95%— y el 38% de las viviendas urbanas está en Montevideo. En relación al tipo edilicio, del Censo 2011 (INE, 2011), considerando las viviendas válidas (se excluyen local no construido para vivienda, vivienda móvil, apartamento o cuarto en local o vivienda colectiva), se desprende que 84,7% corresponden a casa o apartamento en una planta y 15,3% a apartamentos en altura. A los efectos del estudio energético, las viviendas tipo casa y apartamentos en una planta se considerarán en una misma categoría por presentar el techo expuesto y, por tanto, presentar una mayor superficie de envolvente expuesta por metro cuadrado de superficie construida. A partir de esta clasificación, se obtiene la distribución porcentual por tamaño y decil de ingresos de la EGIH [Tabla 1].



FIGURA 1. DEPARTAMENTOS POR ZONA, DISTRIBUCIÓN DE LAS VIVIENDAS POR DEPARTAMENTOS Y AMT REPRESENTATIVOS POR LOCALIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INE (2011).

De forma análoga, se estudió la antigüedad de las construcciones en base a Task et al. (2011), destacando que el 82.3% del parque habitacional existente presenta una antigüedad mayor a 10 años. En la Tabla 1 se puede observar la clasificación correspondiente. Finalmente, a partir de la información disponible y el cruce de las subcategorías Tipo, Tamaño, Decil, Antigüedad y Zona Climática, se determinó la distribución porcentual de las viviendas, presentándose los resultados en la Tabla 1. Para determinar una población representativa de todo el parque habitacional, el número «N» se estipula según los criterios previamente definidos en la metodología. Bastará con multiplicar los porcentajes de la Tabla 1 por ese «N» y se obtendrá la cantidad de viviendas necesarias en cada celda, de tal forma que se cumpla proporcionalmente la distribución total del país.

Arquetipos energéticos (E-arquetipos)

A partir de la metodología desarrollada anteriormente y el análisis estadístico, considerando una muestra representativa estratificada de 100 viviendas como número «N» y asumiendo un error del 5%, para analizar el parque habitacional, se obtiene que son necesarias 32 geometrías distintas, que representan a cada una de las categorías previamente definidas con significancia estadística.

Para la definición de las geometrías se realiza una búsqueda de casos existentes que cumplan con la caracterización realizada, apreciándose los resultados en la Figura 2. Los modelos n° 01, n° 03, n° 04, n° 08, n° 09 y n° 14 se obtienen

Zona	Departamento	Total	Subtotal	AMT ref.
	Total País	1.333.910	mesoclima	
1 Norte Noroeste	Salto	36.487	70.372	Salto
	Paysandú	35.270		Salto
	Artigas	22.632		Salto
	Rivera	33.885		Rivera
	Tacuarembó	30.367		Rivera
2 Suroeste Centro Noreste	Colonia	45.074	23.384	Colonia
	Cerro Largo	28.990		Colonia
	Soriano	27.251		Colonia
	Flores	8.773		Colonia
	Durazno	18.733		Colonia
	Río Negro	17.182		Colonia
	San José	36.677		Mvd.
	Florida	23.384		Mvd.
	Canelones	174.687		Mvd.
3 Sur Sureste	Treinta y Tres	17.145	298.111	Mvd.
	Maldonado	58.614		Rocha
	Rocha	26.100		Rocha
	Lavalleja	21.585		Rocha.
4	Montevideo	471.094	471.094	Mvd.

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE VIVIENDAS POR TIPO, TAMAÑO, DECIL, ANTIGÜEDAD Y ZONA.

Tipo	Tamaño	Decil	Antigüedad	Norte - Noroeste	Suroeste - Centro - Noreste	Sur - Sureste	Mvd.	Subtotal	Subtotal	Subtotal	Total
Casa	≤ 40	1-4	x ≤ 10	0.24 %	0.70 %	0.77 %	0.67 %	2.38 %	11.00 %		
			10 < x ≤ 30	0.41 %	1.17 %	1.29 %	1.13 %	4.0 %			
			x > 30	0.34 %	0.98 %	1.08 %	2.21 %	4.62 %			
		5-7	x ≤ 10	0.06 %	0.18 %	0.20 %	0.14 %	0.58 %	4.06 %	16.58 %	
			10 < x ≤ 30	0.16 %	0.46 %	0.51 %	0.34 %	1.47 %			
			x > 30	0.17 %	0.48 %	0.53 %	0.83 %	2.00 %			
		8-10	x ≤ 10	0.04 %	0.11 %	0.12 %	0.00 %	0.27 %	1.52 %		
			10 < x ≤ 30	0.08 %	0.23 %	0.25 %	0.00 %	0.57 %			
			x > 30	0.10 %	0.28 %	0.31 %	0.01 %	0.69 %			
	40 < x ≤ 70	1-4	x ≤ 10	0.34 %	0.99 %	1.09 %	0.92 %	3.34 %	16.09 %		
			10 < x ≤ 30	0.58 %	1.66 %	1.83 %	1.56 %	5.64 %			
			x > 30	0.49 %	1.39 %	1.54 %	3.69 %	7.10 %			
		5-7	x ≤ 10	0.18 %	0.51 %	0.57 %	0.32 %	1.58 %	11.34 %	34.21 %	84.67 %
			10 < x ≤ 30	0.45 %	1.29 %	1.42 %	0.85 %	4.01 %			
			x > 30	0.47 %	1.34 %	1.48 %	2.47 %	5.75 %			
		8-10	x ≤ 10	0.14 %	0.40 %	0.44 %	0.08 %	1.07 %	6.79 %		
			10 < x ≤ 30	0.30 %	0.86 %	0.95 %	0.17 %	2.27 %			
			x > 30	0.36 %	1.103 %	1.14 %	0.92 %	3.45 %			
	> 70	1-4	x ≤ 10	0.23 %	0.64 %	0.71 %	0.70 %	2.28 %	10.66 %		
			10 < x ≤ 30	0.38 %	1.09 %	1.20 %	1.08 %	3.74 %			
			x > 30	0.32 %	0.91 %	1.00 %	2.41 %	4.64 %			
		5-7	x ≤ 10	0.17 %	0.48 %	0.53 %	0.37 %	1.54 %	11.23 %	33.88 %	
			10 < x ≤ 30	0.42 %	1.21 %	1.33 %	0.95 %	3.91 %			
			x > 30	0.44 %	1.25 %	1.38 %	2.71 %	5.78 %			
		8-10	x ≤ 10	0.23 %	0.67 %	0.74 %	0.24 %	1.88 %	11.99 %		
			10 < x ≤ 30	0.50 %	1.42 %	1.57 %	0.52 %	4.01 %			
			x > 30	0.60 %	1.71 %	1.89 %	1.90 %	6.09 %			
Aptos.	≤ 40	1-4	x ≤ 10	0.001 %	0.003 %	0.003 %	0.131 %	0.138 %	0.81 %		
			10 < x ≤ 30	0.002 %	0.005 %	0.005 %	0.220 %	0.232 %			
			x > 30	0.001 %	0.004 %	0.004 %	0.432 %	0.442 %			
		5-7	x ≤ 10	0.002 %	0.006 %	0.017 %	0.067 %	0.082 %	0.734 %	3.00 %	
			10 < x ≤ 30	0.005 %	0.016 %	0.017 %	0.167 %	0.205 %			
			x > 30	0.006 %	0.016 %	0.018 %	0.408 %	0.447 %			
		8-10	x ≤ 10	0.006 %	0.018 %	0.020 %	0.131 %	0.177 %	1.456 %		
			10 < x ≤ 30	0.014 %	0.039 %	0.043 %	0.279 %	0.376 %			
			x > 30	0.016 %	0.047 %	0.052 %	0.788 %	0.904 %			
	> 70	1-4	x ≤ 10	0.001 %	0.004 %	0.004 %	0.215 %	0.025 %	0.669 %		
			10 < x ≤ 30	0.002 %	0.007 %	0.007 %	0.347 %	0.363 %			
			x > 30	0.002 %	0.006 %	0.006 %	0.068 %	0.081 %			
		5-7	x ≤ 10	0.000 %	0.001 %	0.001 %	0.225 %	0.227 %	1.639 %	6.20 %	15.33 %
			10 < x ≤ 30	0.001 %	0.002 %	0.002 %	0.524 %	0.529 %			
			x > 30	0.001 %	0.002 %	0.003 %	0.877 %	0.883 %			
		8-10	x ≤ 10	0.018 %	0.052 %	0.058 %	0.396 %	0.502 %	3.887 %		
			10 < x ≤ 30	0.039 %	0.111 %	0.123 %	0.836 %	1.109 %			
			x > 30	0.47 %	0.134 %	0.148 %	1.925 %	2.253 %			
	> 70	1-4	x ≤ 10	0.000 %	0.000 %	0.000 %	0.036 %	0.036 %	0.218		
			10 < x ≤ 30	0.000 %	0.000 %	0.000 %	0.160 %	0.160 %			
			x > 30	0.000 %	0.000 %	0.000 %	0.022 %	0.022 %			
		5-7	x ≤ 10	0.003 %	0.008 %	0.009 %	0.151 %	0.170 %	1.089 %	6.13 %	
			10 < x ≤ 30	0.007 %	0.020 %	0.022 %	0.353 %	0.402 %			
			x > 30	0.007 %	0.021 %	0.022 %	0.467 %	0.518 %			
		8-10	x ≤ 10	0.017 %	0.048 %	0.052 %	0.507 %	0.623 %	4.828 %		
			10 < x ≤ 30	0.035 %	0.101 %	0.112 %	1.071 %	1.319 %			
			x > 30	0.042 %	0.122 %	0.134 %	2.587 %	2.886 %			

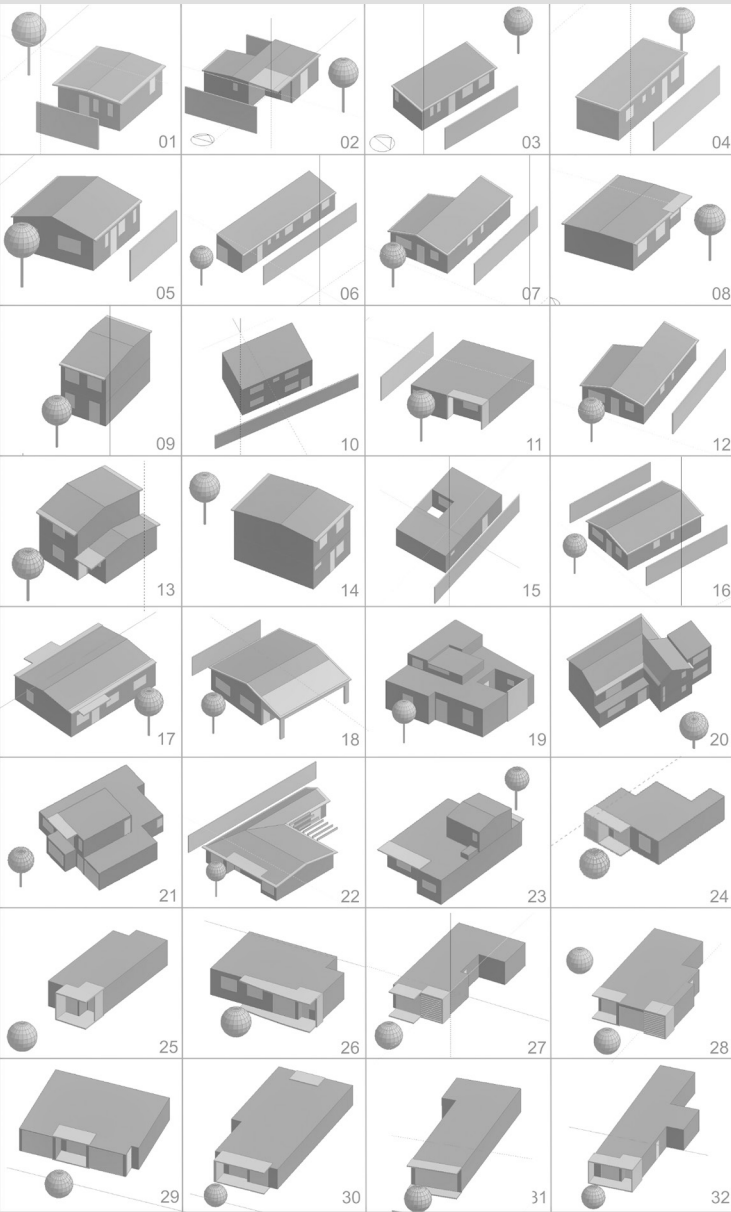


FIGURA 2. GEOMETRÍAS REPRESENTATIVAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

a partir de una revisión bibliográfica de estudios previos en viviendas (Naohum et al., 2008; Alonso et al., 2016) y corresponden a tipologías construidas en programas de vivienda estatal y cooperativas de vivienda. Los modelos n° 02, n° 05, n° 06, n° 07, n° 11, n° 12, n° 13, n° 16, n° 17, n° 24, n° 25, n° 26, n° 27 y n° 32 se obtienen de los planos de programas de vivienda social: plano de vivienda

económica, plan Lote del Servicio de Tierras y Viviendas de la IM, tipologías de realojos de la IM, programa de Mejoramiento de Barrios, programa de vivienda para jubilados y pensionistas del Banco de Previsión Social y tipologías del BHU. Los modelos n° 10, n° 15, n° 18, n° 19, n° 20, n° 21, n° 22, n° 23, n° 28, n° 29, n° 30 y n° 31 son casos de vivienda individual. Las geometrías n° 1 a n° 23 corresponden a los modelos de vivienda tipo casa y las n° 24 a n° 32 a los modelos de vivienda en altura.

En las Tablas 2 y 3 se resume la materialidad, que se le asigna al caso de estudio según antigüedad de la construcción y el decil socioeconómico al que pertenece.

TABLAS 2 Y 3. MATERIALIDAD DE LOS CERRAMIENTOS VERTICALES, HORIZONTALES Y ABERTURAS DE LAS TIPOLOGÍAS.

Decil	Antigüedad	Muros exteriores	Techos		
			Construcción	Infiltraciones	Divisiones interiores
Decil 1-4	< 10 años	ME1 - bloque revocado	C1 - chapa	Techo liviano (B)	MI1 - bloque
	10 < x < 30	ME1 - bloque revocado	C1 - chapa	Techo liviano (B)	MI1 - bloque
	> 30	ME2 - ladrillo	C2 - losa sin aislación	Otro (C)	MI2 - bloque
Decil 5-7	< 10 años	ME3 - ladrillo doble aislante	C3 - losa aislada e = 4cm	Otro (C)	MI3 - tabique liviano
	10 < x < 30	ME4 - ladrillo y aplacado	C4 - losa aislada e = 2cm	Otro (C)	MI4 - ticholo revocado
	> 30	ME5 - ladrillo e=0.23	C5 - losa con aplacado	Otro (C)	MI5 - ladrillo revocado
Decil 8-10	< 10 años	ME6 - ladrillo doble con cámara	C3 - losa aislada e = 4cm	Otro (C)	MI3 - tabique liviano
	10 < x < 30	ME7 - ladrillo doble y aislante	C4 - losa aislada e = 2cm	Otro (C)	MI4 - ticholo revocado
	> 30	ME8 - ladrillo e=0.30	C5 - losa con aplacado	Otro (C)	MI5 - ladrillo revocado

† La contracción Apa. corresponde al Apareamiento de la vivienda.
‡ Considerando únicamente cuando se modela un apartamento como tipo de vivienda.

		Ventanas								Puertas	
		Dormitorios				Estar		Baño y cocina		Int.	Ext.
		Vidrio	Marco	Inf.	Prot.	Inf.	Prot.	Inf.	Prot.	Inf.	Prot.
Decil 1-4	< 10 años	Simple (V1)	A (BP)	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PB
	10 < x < 30	Simple (V1)	A (BP)	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PB
	> 30	Simple (V1)	CP (BP)	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PB
Decil 5-7	< 10 años	Simple (V1)	A (BP)	Tipo (VC)	Prot B1	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PC
	10 < x < 30	Simple (V1)	A (BP)	Tipo (VC)	Prot B1	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PC
	> 30	Simple (V1)	HDC (BP)	Tipo (VC)	Prot B1	Tipo (VC)	Prot B1	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PC
Decil 8-10	< 10 años	Simple (V1)	A (AP)	Tipo (VB)	Prot B1	Tipo (VF)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PC
	10 < x < 30	Simple (V1)	M (AP)	Tipo (VB)	Prot B1	Tipo (VB)	0	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PC
	> 30	Simple (V1)	M (BP)	Tipo (VB)	Prot B1	Tipo (VB)	Prot B1	Tipo (VB)	0	Tipo PA	Tipo PC

(AP) - de alta prestación
(BP) - de baja prestación
A - Aluminio
HDC - Hierro doble contacto
CP - Chapa plegada
M - Madera
Tipo VB - baja prestación sin cortina
Tipo VC - baja prestación con cortina
Tipo VF - Grande de alta prestación sin cortina
Prot B1 - Cortina enrollar de pvc
Tipo PA - Puerta interior de madera
Tipo PB - Puerta exterior de hierro
Tipo PC - Puerta exterior de madera

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 4. ESTUDIO DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE ELEMENTOS EN EL ENTORNO POR LOCALIDAD.

Ciudad	Probabilidad Arbolado	Probabilidad de Entorno	Medianera			Excento	Cantidad de pisos	Orientación (*)	ATM
			† Apa. 3 paredes	† Apa. 2 paredes	† Apa. 1 paredes				
Salto	0.27	0	0	0.6	0.3	0.1	3	8	Salto
Paysandú	0.30	0	0	0.4	0.5	0.1	3	11	Salto
Artigas	0.25	0	0	0.7	0.2	0.1	3	42	Salto
Rivera	0.20	0	0	0.6	0.3	0.1	3	31	Rivera
Colonia	0.45	0	0.1	0.6	0.1	0.2	3	0	Colonia
San José	0.1	0	0	0.7	0.2	0.1	3	78	Mvd.
Tacuarembó	0.2	0	0	0.7	0.2	0.1	3	43	Rivera
Cerro Largo	0.1	0	0	0.7	0.2	0.1	3	8	Colonia
Soriano	0.23	0	0.03	0.65	0.19	0.13	3	79	Colonia
Florida	0.23	0	0.03	0.65	0.19	0.13	3	43	Mvd.
Durazno	0.23	0	0.03	0.65	0.19	0.13	3	27	Colonia
Río Negro	0.23	0	0.03	0.65	0.19	0.13	3	43	Colonia
Flores	0.23	0	0.03	0.65	0.19	0.13	3	3	Colonia
Canelones	0.3	0.4	0.1	0.6	0.1	0.2	3	random	Mvd.
Maldonado	0.18	0.6	0	0.7	0.2	0.1	10	0	Rocha
Rocha	0.3	0	0	0.6	0.2	0.2	3	random	Rocha
Lavalleja	0.1	0	0	0.7	0.2	0.1	3	39	Rocha
Treinta y Tres	0.1	0	0	0.7	0.2	0.1	3	82	Mvd.
Montevideo	0.4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.1	10	random	Mvd.

† La contracción Apa. corresponde al Apareamiento de la vivienda.
‡ Considerando únicamente cuando se modela un apartamento como tipo de vivienda.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Del estudio de probabilidad de ocurrencia de elementos en el entorno de la vivienda se obtienen los resultados de la Tabla 4. Finalmente, para cada modelo, se asigna la distribución de habitantes por vivienda de la siguiente manera: para el decil de 1 a 4, 3 personas para viviendas de hasta de 40 m², 4 personas para viviendas de entre 40 m² y 70 m² y 6 personas para viviendas de más de 70 m²; para el decil de 5 a 7, 1 persona para viviendas de hasta 40 m², 3 personas para viviendas de entre 40 m² y 70 m² y 4 personas para viviendas de más de 70 m²; para los deciles más altos, de 8 a 10, 1 persona para viviendas de hasta 70 m² y 2 personas para áreas superiores.

Incertidumbres y dificultades posteriores para la simulación

Algunas de las fuentes más importantes de incertidumbre de los modelos arquetípicos están relacionadas con la definición del uso de las viviendas, el mantenimiento, las horas de funcionamiento de sistemas complementarios de acondicionamiento térmico, la superficie de suelo acondicionada por tipología, la renovación y las infiltraciones.

Conclusiones

La información disponible para la caracterización energética del parque habitacional en nuestro país es escasa y está fragmentada, encontrándose la mayor parte de datos referidos a viviendas en las bases de datos del INE —Censo y Encuesta de Gastos e Ingresos de los Hogares [EGIH]—, cuyos últimos registros ya son antiguos y no relevan aspectos específicos, como ser la tipología o materialidad detallada de la vivienda. A esto se suma la dificultad de conocer y sistematizar los aspectos conductuales: patrones de uso y ocupación de viviendas. También se debe explicitar que los datos de consumo de energía eléctrica son confidenciales, individuales y están protegidos por ley para su utilización. Entonces, una de las principales dificultades para la realización de este tipo de estudios es la falta de fuentes de información específica, sistematizada y accesible. Por lo tanto, hay ciertas limitaciones en los resultados obtenidos, por lo que se entiende que la sistematización de arquetipos alcanzada debería ser revisada y discutida para alcanzar mayor validez.

A pesar de estos vacíos, esta metodología define E-arquetipos representativos del parque habitacional uruguayo. Conocer la línea base de desempeño de las edificaciones permite evaluar potenciales ahorros energéticos y su relación costo-beneficio tanto económico como ambiental, contribuyendo a los compromisos asumidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, así como al futuro etiquetado energético de viviendas, programa en incipiente desarrollo. Además, la caracterización obtenida es una herramienta valiosa para conocer las condiciones energéticas y térmicas de los usuarios de las viviendas en nuestro país, que le brindará una aproximación a los actores políticos al momento de estimar el potencial de ahorro energético y la mejora del confort térmico, para optimizar las soluciones en los procesos de rehabilitación energética. Por otra parte, este concepto de tipología E-arquetípica puede constituirse en una herramienta sencilla para que también usuarios, diseñadores y arquitectos puedan tomar decisiones de manera informada, minimizando los errores al momento de evaluar y proyectar una vivienda. Esta metodología se considera un punto de partida para el desarrollo de políticas públicas y futuras investigaciones en materia de eficiencia energética en viviendas. Hasta el momento, este trabajo se utilizó para estudiar mediante simulación energética estrategias pasivas de mejoras del parque habitacional (Curto-Risso et al., 2021).

Referencias bibliográficas

Alonso, N., Bozzo, L., Calone, M., Nahoum, B., Recalde, S. y Tedros, G. (2016). ¿La tecnología es la solución? Evaluación integral de las viviendas realizadas por el MVOTMA (1993-2002) empleando sistemas innovadores. Montevideo: Universidad de la República.

Alonso Suárez, R., Bidegain, M., Abal, G. y Modernell, P. (2016). *Año meteorológico típico para aplicaciones de energía solar - AMTUES. Series horarias típicas para 5 sitios del Uruguay* [memoria técnica]. Salto: Laboratorio de Energía Solar, Udelar. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/7342>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais – Referências (Norma ABNT NBR n° 15575).

Ballarini, I., Corgnati, S. P., Corrado, V. y Talà, N. (2011). *Definition of building typologies for energy investigations on residential sector by Tabula IEE-project: application to Italian case studies*. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/268347628>

Carlo, J. C. y Lamberts, R. (2010). Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 2: método de simulação. *Ambiente Construído*, 10(2), 27–40. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000200002>

Casacuberta, C. (2006). *Situación de la Vivienda en Uruguay* (Informe de Divulgación) [Archivo electrónico]. Recuperado de Instituto Nacional de Estadística: https://www.ine.gub.uy/web/guest/encuesta-nacional-de-hogares-ampliada-2006/-/asset_publisher/8nW0ZKdgKuqR/content/enha-2006-situacion-de-la-vivienda-en-uruguay/maximized?_101_INSTANCE_8nW0ZKdgKuqR_redirect=%2Fencuesta-nacional-de-hogares-ampliada-2006

Curto-Risso, P., Favre Samarra, F., Gervaz Canessa, S., Galione Klot, P., Romero Barea, J., Picción Sánchez, A., López Salgado, M., Pereira Ruchansky, L., Camacho Roberts, M., Rodríguez Muñoz, J. y Berges, I. (2021). Eficiencia Energética en el sector residencial. Situación actual y evaluación de estrategias de mejoramiento para distintas condiciones climáticas en el Uruguay. Montevideo: Udelar (Facultad de Ingeniería, Facultad de Arquitectura y Centro Universitario Regional Norte). <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29567>

Departamento de Energía de los Estados Unidos. (2011). Building energy data book 2011. Tech. Rep. US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. <https://ieer.org/wp/wp-content/uploads/2012/03/DOE-2011-Buildings-Energy-DataBook-BEDB.pdf>

Ewing, R., y Rong, F. (2008). The impact of urban form on U.S. residential energy use. *Housing Policy Debate*, 19(1), 1–30. <https://doi.org/10.1080/10511482.2008.9521624>

Geraldi, M. S. (2021). *Building stock modelling for energy benchmarking of schools in Brazil* (Tesis doctoral, Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil). Recuperado de: <https://labeee.ufsc.br/node/1006>

Instituto Nacional de Estadística. (2011). Censos 2011, INE (Uruguay).

Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (1999). Aislamiento térmico de edificios. Zonificación climática. (Norma UNIT n° 1026:1999).

Intelligent European Energy Program. (2012). *Proyecto Tabula*. Recuperado de: <https://webtool.building-typology.eu/#bm>.

International Energy Agency. (2013). *Energy in Buildings and Communities Programme. Annual Report*. Recuperado de: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annual_Report_2013.pdf.

International Energy Agency. (2020). *Annual Energy Outlook 2020 with projections to 2050*. Recuperado de: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/aeo2020.pdf>.

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Resumen para responsables de políticas. *Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea P.R. y White, L.L. (Eds.)]. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.

Kavgic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z. y Djurovic-Petrovic, M. A. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7):1683–1697.

Kavousian, A., Rajagopal, R. y Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>

Kaza, N. (2010). Understanding the spectrum of residential energy consumption: a quantile regression approach. *Energy policy*, 38(11), 6574–6585.

Köppen, W. (1918). Clasificación de los climas según temperatura, precipitación y año. *Petermanns Mitteilungen*, 64: 193–203.

Li, W., Zhou, Y., Cetin, K., Eom, J., Wang, Y., Chen, G. y Zhang, X. (2017). Modeling urban building energy use: A review of modeling approaches and procedures. *Energy*, 141, 2445–2457. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.071>

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2020). Balance energético 2020. Recuperado de: <https://ben.miem.gub.uy/preliminar.php>

Naohum, B., Silva, C., Bozzo, L., Calone, M., Rodríguez, M., Piperno, M. y Campoleoni, M. (2008). *Vivienda social. Evaluación integral, antes y después. Estudio comparado de nueve experiencias de la Intendencia de Montevideo*. Montevideo: Udelar.

Pérez-García, J. y Moral-Carcedo, J. (2016). Analysis and long term forecasting of electricity demand through a decomposition model: A case study for Spain. *Energy*, 97, 127–143. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.055>

Picción, A., Camacho, M., López Salgado, M. N. y Milicua, S. (2008). *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo*. Disponible en: <https://adapta.fadu.edu.uy/wp-content/uploads/2020/10/2009-PDT-Pautas-de-diseno-bioclimatico.pdf>

Reinhart, C. F. y Cerezo Davila, C. (2016). Urban building energy modeling - A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>

Reyna, J., Wilson, E., Parker, A., Satre-Meloy, A., Egerter, A., Bianchi, C., Praprost, M., Speake, A. et al. (2021). U.S. Building Stock Characterization Study: A National Typology for Decarbonizing U.S. Buildings. Disponible en: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81186.pdf>

- Sepúlveda, O. (2006). Editorial. *Revista INVI*, 21(56), 3-5. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25805601>
- Silva, A. S., Almeida, L. S. S. y Ghisi, E. (2016). Decision-making process for improving thermal and energy performance of residential buildings: A case study of constructive systems in Brazil. *Energy and Buildings*, 128, 270–286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.084>
- Taks, J., Bertoni, R., Caldes, L., Camacho, M., Contreras, S., Loustaunau, M., Messina, P., Milicua, S. y Picción, A. (2011). *Equidad y energía en Uruguay, análisis interdisciplinario de la demanda energética en el sector residencial de Montevideo y área metropolitana* [Informe técnico]. Montevideo: Fondo Sectorial de Energía, ANII.
- Wilson, C. y Dowlatabadi, H. (2007). Models of decision making and residential energy use. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 169–203. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.053006.141137>
- Yang, X., Hu, M., Tukker, A., Zhang, Ch., Huo, T. y Steubing, B. (2022). A bottom-up dynamic building stock model for residential energy transition: A case study for the Netherlands. *Applied Energy*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118060>