



BARRERA 2020

Banca infinita, Jardín botánico
Alejandro Merino, Liceo de Hombres
Enrique Molina, Concepción
Agrupación, 2018



Revista
Hábitat
Sustentable

ISSN 0719-0700
Vol. 10 N°. 1
Junio
2020



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO



**Revista
Hábitat
Sustentable**

ISSN 0719-0700

Vol. 10 N°. 1

junio

2020



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

RECTOR:

MAURICIO CATALDO MONSALVES

DECANO FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO:

ROBERTO EDUARDO BURDILES ALLENDE

EDITORIA RESPONSABLE:

Dra. CLAUDIA MUÑOZ SANGUINETTI / Departamento Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
clmunoz@ubiobio.cl

PRODUCTORA EDITORIAL:

JOCELYN VIDAL RAMOS / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
javidal@ubiobio.cl

ASISTENTE EDITORIAL:

Arq Mária Paz Cid Alarcón / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
mpcid@ubiobio.cl

CORRECIÓN DE ESTILO:

Dra. OLGA OSTRIA REINOSO / Departamento Estudios Generales

GESTIÓN INFORMÁTICA:

KARINA LEIVA / Universidad del Bío-Bío, Chile

DIRECTOR DE ARTE Y DIAGRAMACIÓN:

IGNACIO A. SÁEZ ARANEDA

COMITÉ PRODUCTIVO:

Dra. M^o BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

ALEJANDRA BANCALARI CORNEJO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

CONSEJO EDITORIAL:

Dra. MAUREEN TREBILCOCK KELLY / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

Dra. M^o BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

Dr. RODRIGO GARCÍA ALVARADO / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile

Dra. NINA HORMAZÁBAL / Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile

Dr. WALDO BUSTAMANTE / Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Dr. ERNESTO KUCHEN / Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, San Juan, Argentina

Dra. CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ / Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Dr. OLAVO ESCORCIA OYOLA / Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Dr. ALEXANDER GONZÁLEZ CASTAÑO / Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia

Dr. CARLOS RUBIO-BELLIDO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Dra. MARÍA DEL PILAR MERCADER MOYANO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Dr. VICENTE FLORES ALÉS / Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Dr. FLAVIO CELIS D'AMICO / Universidad de Alcalá, Madrid, España

Dr. ERNESTO ECHEVERRÍA VALIENTE / Universidad de Alcalá, Madrid, España

TRADUCCIONES:

KEVIN WRIGHT

FOTOGRAFÍA PORTADA:

HERNÁN BARRÍA CHATEAU / Banca Infinita Azócar Catrón

DIRECCIÓN:

Avda. Collao 1202
CP: 4081112. Concepción, Chile
TEL.(56-41)3111409

Revista **HS** indexada en SciELO, ERIHPLUS, Emerging Source Citation Index de Clarivate Analytics, Latindex Catálogo 2.0, Avery Index, DOAJ, Dialnet, Redib, EBSCO, Rebiun, JournalTOCs y ARLA.

HS se adhiere a la Declaración de San Francisco Sobre la Evaluación de la Investigación (DORA).

Los criterios expuestos en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de la dirección de la revista.

Revista Hábitat Sustentable es editada por el Facultad de Arquitecturas Construcción y Diseño de la Universidad del Bío-Bío, es financiada por el Fondo de Publicaciones Periódicas de la Vicerrectoría Académica, la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación y la Dirección de Postgrado de la Universidad del Bío-Bío.



- 05 **BANCA INFINITA**
Hernán Barría Chateau
- 07 **EDITORIAL**
Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti
- 08 **MIDIENDO LA POBREZA ENERGÉTICA. UNA REVISIÓN DE INDICADORES**
Raúl Castaño-Rosa, Jaime Solís-Guzmán, Madelyn Marrero
- 22 **COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE TRES PROTOTIPOS EN SALTILLO, COAHUILA (BLOQUES DE TIERRA, CONCRETO Y TAPA DE HUEVO)**
María Eugenia Molar Orozco, Jesús Velázquez Lozano, María Genoveva Vázquez Jiménez
- 32 **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM EN UNA EXPERIENCIA ÁULICA ORIENTADA A LA SUSTENTABILIDAD EDILICIA**
Analia Alejandra Alvarez, María Verónica Ripoll Meyer
- 44 **TRANSICIÓN ENERGÉTICA ARGENTINA. EL NUEVO ESTÁNDAR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EVALUACIÓN DE LA VIVIENDA SOCIAL. CASO DE ESTUDIO: VIVIENDA DE BARRIO PAPA FRANCISCO**
Ernesto Kuchen, Daniel Kozak
- 56 **INCIDENCIA DE LAS ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN LA ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARGENTINA**
Amalita Fernandez, Beatriz Silvia Garzón, Beatriz Silvia Garzón
- 68 **VIVIENDA SUSTENTABLE: UNA DISCUSIÓN SOBRE EL MANEJO EFICIENTE DEL USO AGUA EN INSTALACIONES DOMICILIARIAS. CASO DE ESTUDIO: SANTA FE – ARGENTINA**
Rodolfo Bellot, Diego Fiscarelli

BANCA INFINITA

Durante los primeros noventa días de la pandemia Covid-19, en estado de confinamiento, compulsivamente comencé a dibujar y realizar acuarelas -a partir de fotografías, imágenes de Google Earth y algo de imaginación- de aquellos lugares de Concepción y la región del Bío Bío que están ahí, quedaron ahí y que quería memorizar. Cerca de cincuenta bocetos, dibujos y acuarelas que retratan la arquitectura contemporánea de nuestra región y distintos paisajes urbanos, como también los días de confinamiento. Algunos de estos dibujos son el Consorcio (Browne, 2004)/ Día 7; Pabellón CCP (Rep. Portátil, 2016)/ Día 22; Barrio Cívico Boca Sur (Radic, 2017)/ Día 23; Aiwíñ (Sáez, 2018)/ Día 25; Memorial 27F (Soza y Atanasio, 2013)/ Día 28; Edificio STV (Berríos, 2014)/ Día 31; EL Chiflón N°4 (1880)/ Día 34; Edificio L26 (Belmar y Game, 2014)/ Día 37; Casa Poli (PvE, 2005)/ Día 41; Museo Pewenche (Lobos Arquitectos, 2010)/ Día 43; Vivero Horcones (Aravena, 2015)/ Día 50; Parque Lebu (Soto y equipo, 2015)/ Día 51; Teatro Regional (Radic, Castillo y Medrano, 2018)/ Día 68; y Escuela de Arquitectura de la Universidad del Bío-Bío / Día 72; entre otros.

Al tanto de estos dibujos, Claudia Muñoz, editora de HÁBITAT SUSTENTABLE, me invita a publicar alguna de estas imágenes como portada del actual número de la revista. Gratamente sorprendido por esta inusual invitación, otra vez, como impulso irresistible fue pensar en una portada con varios de estos dibujos o a lo menos con los más representativos de la ciudad de Concepción, pero finalmente decidí proponer una sola imagen que reflejara el espíritu de la revista y los tiempos que corren de pandemia, se trata de la Banca Infinita (2018), una pequeña intervención en el Parque Botánico Alejandro Merino en el Liceo Enrique Molina de Concepción y realizada por la oficina de los arquitectos Carolina Catrón y Ricardo Azocar. Proyecto que evoca tres ideas que me parece destacar. La primera es la continuidad histórica de la propuesta, en términos que reconoce y revaloriza un espacio significativo para la comunidad educacional y la ciudad; segundo, la simpleza de la arquitectura y su materialidad que parece pertenecer al lugar, en armonía con su entorno, acaso la metáfora de la propia existencia del ser humano y su devenir; tercero y final, la geometría circular del proyecto sintetiza un lugar de encuentro por antonomasia, que en estos tiempos de confinamiento por el Covid-19, como decía al inicio de esta nota, está ahí, quedo ahí y probablemente pasará mucho tiempo para volver a reencontrarnos en ese lugar o simplemente en la ciudad.

Hernán Barría Chateau
Magister en Arquitectura
Docente Asociado Dpto. Diseño y Teoría de la Arquitectura
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-8619-9801>
hbarria@ubiobio.cl



EDITORIAL

Escribo este Editorial en el día 104 desde inicio de la cuarenta en Chile por virus COVID- 19; un complejo escenario vivencial y doloroso jamás imaginado que no deja indiferente a nadie. Sin duda, es incierto el tiempo que nos queda para volver a una “nueva normalidad”, pero cualquiera sea ese plazo, nadie debiera ser el mismo que al inicio decidio.

Este proceso pandémico no sólo nos enrostra lo frágil de nuestra existencia como especie, sino que viene a situarnos además en la esencia sublime del habitar, relevando con ello el sentido de la sanidad, revalorando nuestros refugios, impulsándonos a consumir en forma más consciente y a cuidarnos triblamente, tal como lo hicieron nuestras culturas ancestrales, en las cuales los ancianos y niños requieren mayor atención y protección. Se trata, ciertamente, de un escenario ideal y favorable para quienes tenemos el privilegio de vivir este proceso profundo de manera protegida, ya que esta pandemia, al igual que otras de siglos pasados, ha (re)descubierto las enormes brechas sociales existentes, que vuelven inviable el acceso mayoritario a estas posibilidades de vida más digna. El COVID-19 nos volvió más pusilánimes, al sorprendernos en pleno siglo XXI, en una era científica y tecnológica avanzada, que creía tener respuesta a todo, (incursionando incluso en otros planetas), y mostramos lo diminuto de nuestra existencia. Así, reflexionar respecto a nuestra condición actual y futura como especie, a cómo nos relacionamos socialmente, con la biosfera y con nuestro ambiente construido, es trascendente, es una oportunidad única que debiéramos atender y cultivar tanto humana como disciplinadamente.

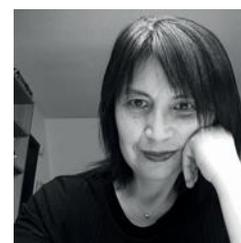
A pesar de este panorama adverso e incierto, el equipo de editorial de HS sigue realizando un trabajo sistemático para aportar a la comunidad científica y académica mediante temáticas de significativa contribución para el ambiente construido y el hábitat sustentable, las cuales, indudablemente, se verán abordadas en lo sucesivo desde perspectivas y estudios derivados de los tiempos del COVID-19.

Esta versión 10 N1 trae un nutrido y valioso repertorio de artículos desde España, México y Argentina, que aportan en ámbitos tan relevantes para la línea editorial de HS como son temas centrados en pobreza energética, atributos térmicos de elementos constructivos con menor impacto ambiental, eficiencia energética, herramientas para uso eficiente del recurso agua y herramientas BIM para el diseño bioclimático; todos ellos resultados de proyectos de investigación relevantes e internacionales.

Quisiera cerrar esta editorial con un mensaje de optimismo, compartiendo una excelente noticia para la comunidad de HS: a contar de marzo del presente año, Revista Hábitat Sustentable ha sido aceptada en Bases de Datos SCOPUS. Un alentador anuncio que indica que vamos en la senda correcta y nos motiva a seguir avanzando y mejorando sostenidamente.

Es necesario, como en cada número, agradecer a toda la comunidad HS que ha hecho posible este desarrollo exitoso: todos los autores, revisores, Comité editorial, VRIP-UBB, Decanatura FARCODI, ANID y al valioso equipo editorial que número a número aporta con su compromiso y sus capacidades: Dra. Olga Ostria en corrección de estilo, Ignacio Sáez en diagramación, Jocelyn Vidal en producción editorial y Karina Leiva en gestión y soporte informático.

Claudia Muñoz Sanguinetti
Doctora en Arquitectura y Urbanismo
Profesora Asociada Dpto. Ciencias de la construcción
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-4859-478X>
clmunoz@ubiobio.cl







Recibido 06/05/2020
Aceptado 30/06/2020

MIDIENDO LA POBREZA ENERGÉTICA. UNA REVISIÓN DE INDICADORES

MEASURING FUEL POVERTY. A REVIEW OF INDICATORS

RAÚL CASTAÑO-ROSA
Doctor Arquitecto

Investigador posdoctoral Grupo de Tecnologías Apropriadas para
el Desarrollo Sostenible, Universidad Carlos III de Madrid
Madrid, España
<https://orcid.org/0000-0002-4459-0220>
raulcastano90@gmail.com

JAIME SOLÍS-GUZMÁN
Doctor ingeniero Industrial

Docente Titular Departamento de Construcciones
Arquitectónicas II - Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Edificación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0001-5535-8112>
jaimesolis@us.es

MADelyn MARRERO

Doctora Ingeniera Industrial
Arquitectónicas II - Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Edificación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0002-9509-4374>
madelyn@us.es

RESUMEN

Identificar aquellos hogares en una situación de vulnerabilidad a la pobreza energética es el primer paso para abordar una problemática social a nivel mundial asociada a la falta de servicios energéticos mínimos, conocido por los términos anglosajones—Fuel Poverty y Energy Poverty, FP y EP, respectivamente. El concepto FP, definido en el Reino Unido como “la incapacidad para obtener un adecuado confort térmico debido a la ineficiencia de la vivienda”, mientras que el concepto EP refleja la imposibilidad de tener acceso a un servicio energético mínimo en países en desarrollo. La falta de un consenso a la hora de definir una ruta clara ha originado que algunos países no la reconozcan como un problema social. La investigación se basa en la revisión de ambos conceptos, a través del análisis conceptual de los términos FP y EP, revisión de indicadores utilizados, estudio de la capacidad de los indicadores para identificar y proponer soluciones a la problemática. Todo ello en relación a los objetivos incluidos: infraestructuras disponibles, eficiencia energética, pobreza social y económica, bienestar y salud social. El resultado es la revisión desde una perspectiva técnica en el sector residencial que ayude a desarrollar soluciones que cubran las carencias encontradas.

Palabras clave

eficiencia energética, exclusión social, higiene, pobreza

ABSTRACT

Identifying those households in an energy poverty vulnerability situation is the first step towards addressing a global social problem associated with the lack of minimum energy services, known as Fuel Poverty and Energy Poverty, FP and EP, respectively. The FP concept is defined in the United Kingdom as “the inability to obtain adequate thermal comfort due to the inefficiency of the house”, while the EP concept reflects the impossibility in developing countries of having access to a minimal energy service. The lack of consensus when defining a clear path has meant that some countries have not recognized it as a social problem. The research is based on the review of both concepts, through the conceptual analysis of the terms, FP and EP, a review of indicators used, and the study of the capacity of the indicators to identify and propose solutions to the problem. All this regarding the objectives included: available infrastructures, energy efficiency, social and economic poverty, well-being and social health. The result is a review from a technical perspective in the residential sector, that helps develop solutions that cover the deficiencies found.

Keywords

energy efficiency, social exclusion, hygiene, poverty

INTRODUCCIÓN

La pobreza energética (PE), concebida comúnmente como la incapacidad de un hogar en satisfacer una cantidad mínima de servicios de energía para sus necesidades básicas (Castaño-Rosa, Solís-Guzmán, Rubio-Bellido y Marrero, 2019) como por ejemplo, mantener la vivienda en unas condiciones de climatización adecuadas para la salud (Sokołowski, Lewandowski, Kiełczewska y Bouzarovski, 2020), ha suscitado el interés de los gobiernos y partidos políticos, logrando así una mayor repercusión pública. Varias son las definiciones e indicadores desarrollados por los países para analizar la situación de los hogares más vulnerables, entre los que destacan los de Reino Unido, Irlanda, Francia, Eslovaquia, Italia o Austria (Thomson, Snell y Liddell, 2016). Se estima que casi el 20% de la población total de la Unión Europea estaría incluida en dicha categoría ((EnAct), n.d.). Sin embargo, no existe un concepto oficial común en toda Europa que permita analizar la situación de pobreza energética en los estados miembros y que facilite la comparativa de los resultados obtenidos, con el fin de identificar medidas efectivas para una eventual erradicación.

La Comisión Europea (CE) utiliza tres criterios básicos para evaluar una situación de PE: la incapacidad para mantener las viviendas acondicionadas de manera adecuada, el retraso en el pago de las facturas de servicios públicos y habitar viviendas insalubres (goteras en techos, paredes o suelos, aparición de moho y podredumbre), datos recogidos mediante el Observatorio Europea de la Pobreza Energética (European Commission, 2018). El concepto PE no es únicamente la dificultad para mantener una vivienda a una temperatura adecuada durante las diferentes épocas del año o para hacer frente al pago asociado a un consumo energético o para costear un elevado precio de la energía consumida, sino un concepto multidimensional que ha ido evolucionando, definiéndose actualmente como aquella situación que puede privar a los hogares no sólo de calefacción o refrigeración, sino también de agua caliente, luz y otras necesidades domésticas esenciales (Bouzarovski y Petrova, 2015).

Actualmente, FP y EP son los dos principales conceptos utilizados para identificar una de las mayores problemáticas sociales asociada a la falta de servicios energéticos mínimos en los hogares para cubrir las necesidades básicas, tales como alimentación, higiene personal, zona de confort, seguridad en el hogar, etc. En definitiva, unos servicios energéticos mínimos que garanticen la salud y bienestar social, independientemente de la zona en la que se localice la vivienda, su situación social y económica, estado de salud o país de origen (extranjeros). El objetivo principal del presente trabajo es realizar una revisión de los trabajos y proyectos internacionales más utilizados para identificar de forma efectiva aquellos hogares en riesgo o que se encuentran ya en una situación de FP o EP.

METODOLOGÍA

Para analizar el concepto PE es necesario desarrollar el estado de la cuestión desde una perspectiva internacional, comenzando por 1) el análisis de los términos anglosajones: Energy Poverty (EP) y Fuel Poverty; siguiendo con 2) la revisión de indicadores utilizados para analizar una situación de pobreza energética; y finalizando con 3) la identificación de la capacidad de los indicadores para solucionar la problemática en relación a los objetivos propuestos: infraestructuras disponibles, eficiencia energética, pobreza social y económica, bienestar y salud social, etc. Dichos objetivos son establecidos en base a los factores de vulnerabilidad energética definidos por Bouzarovski, Petrova y Tirado-Herrero (2014). El resultado es una revisión de los conceptos EP y FP desde una perspectiva técnica en relación al sector residencial, la cual permitirá desarrollar soluciones que cubran las carencias encontradas.

En el examen de indicadores utilizados para analizar una situación de pobreza energética, estos se agrupan en dos categorías: aquellos basados en gastos e ingresos del hogar y aquellos basados en encuestas de percepciones y declaraciones de los hogares. Además, existen indicadores y metodologías que describen aquellos consumidores más vulnerables, como son los análisis econométricos, de la sobreocupación de viviendas comunes, de confort térmico y los fundamentados en la calificación de eficiencia energética de las viviendas. Los indicadores recogidos en la Tabla 1 serán discutidos en las siguientes secciones del artículo.

REVISIÓN DE INDICADORES RELACIONADOS

Para analizar el PE, es necesario desarrollar el estado de la cuestión desde una perspectiva internacional y, especialmente, el análisis de los términos anglosajones: Fuel Poverty (FP) y Energy Poverty (EP). Este artículo analiza y revisa los conceptos EP y FP, así como los indicadores disponibles más utilizados, desde su capacidad para identificar hogares en riesgo de PE a partir de una perspectiva técnica relacionada con el sector residencial.

El concepto FP fue introducido por Isherwood y Hancock en 1979 tras el forzado aumento del precio de la energía, debido a la crisis del petróleo (1973-1974). Sin embargo, no es hasta el año 1991 cuando Brenda Boardman (2010) define por primera vez el concepto de FP, referido al Reino Unido, como: "la incapacidad para obtener un adecuado confort térmico debido a la ineficiencia de la vivienda", por lo que estableció la posibilidad de que aquellos que son pobres energéticamente no tienen por qué serlos económicamente.

Actualmente, existen diferentes definiciones oficiales de FP desarrolladas en países como Reino Unido, Francia, Irlanda, Eslovaquia (Thomson et al., 2016), así como

Categoría	Tipo de evaluación
Basados en gastos e ingresos del hogar	Gasto del consumo energético superior al 10% del ingreso familiar (10%) (Boardman, 2012)
	Gasto del consumo energético superior al doble de la mediana nacional (2M) (Schuessler, 2014)
	Ingreso familiar inferior al Mínimo Ingreso Standard (MIS) (Moore, 2012) and examines the consequent policy implications. It explores the definition of vulnerable households and the importance of severity and questions whether the UK fuel poverty strategy is targeted at households least able to afford their fuel costs (as the name implies)
	Ingreso familiar inferior al umbral de pobreza monetaria y gasto del consumo energético superior al umbral establecido (LIHC) (Hills, 2012)
	Ingreso familiar después del coste de combustible inferior al umbral establecido al cual se excluye el coste de combustible medio de la zona analizada (AFCP) (Romero, Linares, López Otero, Labandeira y Pérez Alonso, 2015)
	Gasto absoluto del consumo energético inferior al umbral establecido (HEP) (Rademaekers et al., 2016)
Basados en encuestas de percepciones y declaraciones de los hogares	Posibilidad de un hogar para mantener una temperatura adecuada durante la estación fría (European Commission, 2014)
	Aparecen retrasos en el pago de los recibos energéticos (European Commission, 2014)
	Aparecen deficiencias en la vivienda, como son goteras, humedades en paredes, suelos, techos o cimientos, o podredumbre en suelos, marcos de ventanas o puertas (European Commission, 2014)
	Capacidad de un hogar para mantener una temperatura fresca durante los meses de verano (Spanish National Statistics Institute, 2014)
Basados en análisis econométricos	Influencia de determinados condicionantes demográficos, socioeconómicos y físicos en padecer una situación de PE (Legendre y Ricci, 2014)
Basados en el confort térmico	Porcentaje de horas en el que las estancias se encuentran en una situación de confort térmico (Sánchez-Guevara, Neila Gonzalez y Hernández Aja, 2014)
Basados en la eficiencia energética de la vivienda	Influencia de la calidad de la vivienda (consumo energético) con una situación de PE. Mala calidad de la vivienda ocasiona un mayor consumo energético y, a su vez, una situación de PE (Fabbri, 2015) decision-makers, technicians, researchers, etc. In Italy, a strategy to solve fuel poverty involves action in order to reduce energy prices, the AEEG (Italian regulatory authority for electricity gas and water)
Basados en criterios combinados	Índice de Hogares Vulnerables. Permite evaluar un hogar, sea o no identificado en una situación de pobreza energética, identificando qué variable requiere una mayor atención: económica, energética o de confort térmico. Hace posible incluir la viabilidad económica y técnica de una rehabilitación energética (Castaño-Rosa, Solís-Guzmán y Marrero, 2018) and assesses the home vulnerability situation regardless of whether or not it is in fuel poverty by using three dimensions: monetary cost, energy and thermal comfort. The monetary dimension analyses vulnerability in relation to the available net income to face everyday life. The energy variable assesses the vulnerability related to the constructive characteristics of the dwelling. Finally, the introduction of the thermal-comfort variable enables the evaluation of the vulnerability related to the inner temperature of the dwelling and its perception by occupants. The combination of the different resulting values in each dimension and its relationship to the quality of life of occupants establishes a hierarchy of vulnerable levels. As a result, a multi-dimensional index is defined which relates technical aspects (characteristics of the dwelling)
	Fuel Poverty Potential Risk Index. Permite evaluar el riesgo de un hogar a padecer PE en función del lugar donde se localice su vivienda en el contexto de Chile, utilizando el modelo de confort adaptativo (Pérez-Fargallo, Rubio-Bellido, Pulido-Arcas y Trebilcock, 2017)
	Energy Poverty Vulnerability Index. De aplicación en Portugal, proporciona un análisis espacial de la PE a partir de combinar varios indicadores: socioeconómico, climático, energético (Gouveia, Palma y Simoes, 2019)

Tabla 1. Resumen de las medidas-indicadores analizados.
 Fuente: Elaboración de los autores.

diversidad de indicadores para su análisis, ninguno reconocido de manera oficial por la CE. Sin embargo, en búsqueda de mitigar esta problemática, en la estrategia Energy Roadmap 2050 (European Commission, n.d.) implementada por la Comisión, se define al consumidor energético vulnerable como aquella familia abastecida por electricidad y formada por personas cuya edad, estado de salud y bajos ingresos presentan riesgo de exclusión social, así como del riesgo de corte del suministro, además de beneficiarse de medidas de protección social para conseguir el suministro eléctrico mínimo requerido (Peneva, 2016).

El concepto de EP ha adquirido relevancia gracias a diversas investigaciones (Bouzarovski y Petrova, 2015; Shonali Pachauri, 2004). Este se asocia a la falta de un suministro de energía, debido a problemas relacionados con las infraestructuras que la distribuyen. El uso del concepto EP ha facilitado identificar las zonas con escasas infraestructuras, antiguas y en un estado de conservación ineficiente, como son los cascos históricos, las zonas rurales y/o las zonas de exclusión social, que, unido a su escasa actividad económica, continua despoblación y pérdida del atractivo inversor, han motivado un abandono continuado, provocando que sus residentes tengan una peor calidad de vida.

Buen ejemplo de EP es el estudio llevado a cabo en Hungría (Tirado Herrero y Üрге-Vorsatz, 2012)a, donde los edificios analizados mostraban un excesivo gasto en el consumo energético, dificultad para realizar un cambio de suministrador o tipo de combustible debido a las restricciones técnicas e institucionales; o la imposibilidad de reducir el gasto en calefacción a través de actuaciones individuales de eficiencia energética. Este tipo de situaciones origina retrasos e imposibilidad en el pago de las facturas energéticas, desconexión del suministro por parte de la compañía suministradora o reducción del consumo de otras necesidades y servicios básicos, y está asociado principalmente a países pobres, ubicados sobre todo en la zona central y sur de América, África y Asia (Bazilian, Sagar, Detchon y Yumkella, 2010; Birol, 2007).

Más allá de las nociones de FP y EP, la realidad es que ambas definen una situación en la que un hogar no puede satisfacer sus necesidades energéticas básicas (tales como calefacción, refrigeración, iluminación o cocina) (Gatto y Busato, 2020), ya sea por una cuestión material o social. De ahí la actual tendencia de identificar, más que una situación de EP o FP, al consumidor vulnerable, el cual convoca los conceptos "resiliencia" -capacidad de adaptación frente a un estado o situación adversa- (Bouzarovski et al., 2014; O'Brien y Hope, 2010; Welsh, 2014) y "precariedad" -carencia de los medios o recursos suficientes- (Paugan, 1995). A continuación, se realiza una revisión de los indicadores de PE más utilizados y reconocidos internacionalmente

(ASSIST 2GETHER, 2018; Herrero, 2017; Rademaekers et al., 2016; Meszerics, 2016; Thomson et al., 2016), usando como base el Observatorio Europeo de la Pobreza Energética (European Commission, 2018), el Observatorio de Pobreza Energética en México ("Observatorio de Pobreza Energética en México," n.d.), y la Red de Pobreza Energética de Chile ("Red de Pobreza Energética (RedPE), Universidad de Chile", 2017). El análisis de debilidades y amenazas de los indicadores se realiza a partir de los factores de vulnerabilidad energética definidos por Bouzarovski et al. (2014).

INDICADOR DEL 10%

Este indicador define que un hogar está en pobreza energética si ha de dedicar más del 10% de sus ingresos a pagar unos servicios energéticos adecuados (tales como calefacción, refrigeración, iluminación o cocina) (Boardman, 2010). Definido por Boardman, es un indicador simple, fácil de comunicar y relativamente versátil, lo que permite establecer una clara meta política. Las críticas son fundamentalmente debidas, por un lado, a su excesiva sensibilidad a los precios de la energía, infraestimando la escala del problema cuando los precios son bajos y sobreestimándola cuando son altos, y, por otro, al carácter arbitrario en la fijación del umbral en el 10%, un umbral que se justificó en la coyuntura socioeconómica del Reino Unido a comienzo de los 90. La experiencia de años de aplicación ha mostrado que este umbral del 10% incluyó un número significativo de hogares que no eran pobres energéticos, como hogares de renta alta con casas ineficientes.

INDICADORES 2M

Estos incluyen: doble de la mediana de gasto en energía del hogar, doble de la media de gasto de energía del hogar, doble de la mediana de porcentaje de gasto en energía del hogar y doble de la media de porcentaje de gasto en energía del hogar (Schuessler, 2014). Sólo el tercero de los indicadores anteriores tiene su justificación en los trabajos pioneros de Boardman, en los cuales se detectó que la mediana del porcentaje de gasto energético respecto al total de ingresos en los hogares británicos rondaba el 5% para el año 1988. Tras ello, la evaluación aportada por estos indicadores indica que "Un hogar está en pobreza energética si de sus ingresos ha de dedicar más del doble de la mediana de porcentaje de gasto en energía para pagar unos servicios energéticos adecuados" (Schuessler, 2014, p. 11). El umbral de PE se establece en relación a la media nacional, posibilitando que sea recalculado cada año. En este sentido, no es una medida estática. Como puntos fuertes del indicador se puede destacar: los hogares con altos ingresos son raramente incluidos como pobres energéticos y tiene en consideración las características específicas del país.

MÍNIMO INGRESO STANDARD (MIS)

El MIS, definido por Moore (2012), considera aquella renta mínima de un hogar que permita a sus integrantes optar a las oportunidades y elecciones que, a su vez, les permitan una integración activa en la sociedad. El proyecto "A minimum income standard for Britain" desarrollado por Bradshaw *et al.* (2008) representa un buen ejemplo de lo que esta metodología pretende. Lo primero a subrayar es que se trata de un proyecto acotado, ya que establece un MIS siempre asociado a un colectivo social concreto y son las personas escogidas como representantes de diversos colectivos sociales las que participarán en todo el proceso deliberativo y en la elaboración de las conclusiones. Definir lo que se entiende por "ingreso mínimo aceptable" (MIS) es la principal limitación. Este proyecto se basa en la Convención de Derechos Humanos de las ONU y los trabajos de un comité de expertos en los EE.UU. que realizaron una revisión de los presupuestos familiares en 1980 y desarrollaron el concepto de Prevailing Family Standard. Para tener en cuenta a colectivos especialmente vulnerables se establecieron una serie de parámetros socioeconómicos del hogar: composición del hogar, situación de empleo, discapacidad, salud, etnia y accesibilidad. De este modo, "un hogar se encontraría en situación de pobreza energética si sus ingresos totales menos sus costes energéticos no superasen el MIS correspondiente a las características de su hogar" (Moore, 2012, p. 21).

LOW INCOME HIGH COST (LIHC)

A partir de los estudios realizados por Hills (2012), se concibe un hogar como pobre energético si sus ingresos se encuentran por debajo de un umbral de pobreza determinado y cuando sus gastos energéticos son superiores a otro umbral para el gasto energético. Para

ello es necesario establecer ambos umbrales: el primero se define en el 60% de la mediana equivalente de ingresos después de restar los gastos de la vivienda y los gastos energéticos. Para el segundo umbral se usó la mediana equivalente de gasto en energía calculado sobre el total de hogares (ver Figura 1).

El punto fuerte de este indicador se basa en la posibilidad de distinguir entre PE y pobreza general, reflejando claramente que la PE es dependiente de los ingresos del hogar. A su vez, el uso de este indicador deja fuera de una situación de PE aquellos grupos considerados más vulnerables (personas mayores, enfermos crónicos, minusválidos y niños pequeños) (Middlemiss, 2016) the UK government transformed the politics of fuel poverty, with a new definition ('Low income, high costs' or LIHC, ya que el hogar definido como pobre energético está formado por unos bajos ingresos familiares y una vivienda energéticamente ineficiente. Esto provoca que mejorar la eficiencia energética de la vivienda sea considerada la principal medida para reducir la PE, obviando que los hogares con bajos ingresos seguirán en cierta medida teniendo problemas para pagar sus facturas y experimentando problemas de salud por vivir en un confort inadecuado.

AFTER FUEL COST POVERTY (AFCP)

Basado en el indicador inicial del MIS propuesto por Moore, el desarrollo realizado por Heindl (2015) y las aplicaciones realizadas en España por Romero *et al.* (2015) y en Reino Unido por Hills (2012), considera que un hogar está en pobreza energética cuando los ingresos del hogar, una vez descontados los gastos de vivienda y energía doméstica, caen por debajo del nivel de ingresos mínimos aceptables (ajustados al tamaño y composición del hogar por medio la escala de equivalencia de la OCDE modificada). En

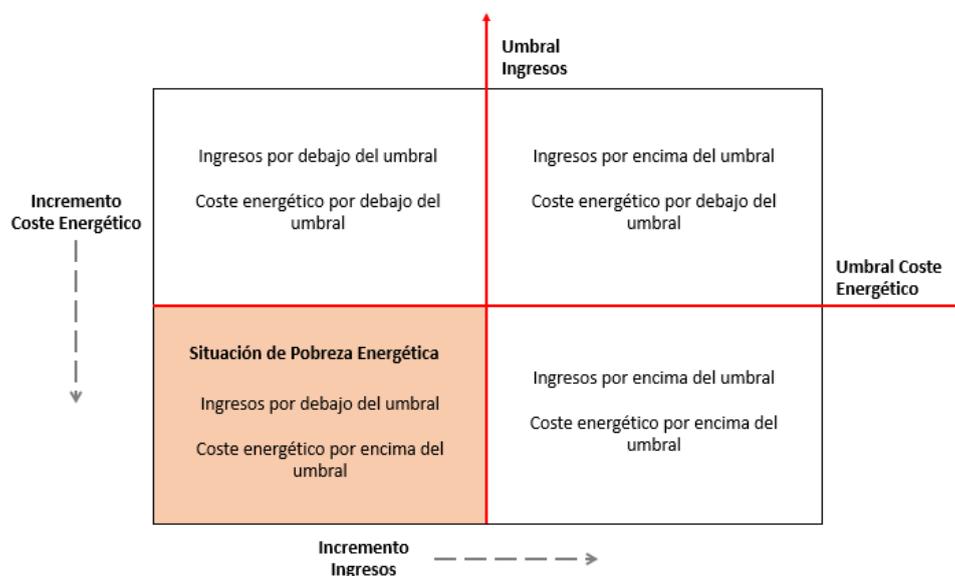


Figura 1. Indicador Low Income High Cost (LIHC).
 Fuente: Elaborado a partir de (Hills, 2012).

resumen, este enfoque se fundamenta en la existencia de un nivel de ingresos mínimos que garantice el bienestar de una persona, posibilitando que un hogar no sea excluido de la sociedad de la que forma parte (exclusión social) por un factor económico.

HIDDEN ENERGY POVERTY INDICATOR (HEP)

El HEP identifica aquellos hogares cuyo gasto energético es demasiado bajo, de manera que habrá una situación de PE si el gasto energético total está por debajo de la mediana del gasto energético (Rademaekers *et al.*, 2016). Este indicador permite distinguir a aquellos hogares cuyos ingresos no permiten realizar un consumo energético mínimo debido a tener que priorizar los gastos en alimentación, dando respuesta al conocido efecto "heating or eating". Sin embargo, sólo es válido si se utiliza el gasto monetario absoluto, ya que generalmente los hogares con altos ingresos gastan más en energía en valor absoluto, pero menos como parte proporcional de sus ingresos; de lo contrario, hogares con un gasto muy bajo en relación a sus ingresos, por tener unos ingresos elevados, serían considerados en situación de PE. A su vez, el uso del gasto en valor absoluto permite aportar una evaluación absoluta del consumo de servicios energéticos realizado, identificando aquellos hogares que tienen un gasto por debajo de lo normal, absteniéndose de un nivel básico de consumo. Entre sus limitaciones, hay que señalar que HEP no considera las características de la vivienda, ni su eficiencia energética.

ENCUESTAS DE PERCEPCIONES Y DECLARACIONES DE LOS HOGARES

Las encuestas de ingresos y condiciones de vida de la Unión Europea (EU-SILC) (European Commission, 2014) tienen como objetivo disponer de una fuente de referencia sobre estadísticas comparativas en el ámbito europeo de los ingresos y la exclusión social. De todos los aspectos de la vida cotidiana de los hogares que analiza esta encuesta, las tres preguntas generalmente utilizadas para el análisis de la PE son relativas a: incapacidad de un hogar para mantener una temperatura adecuada durante la estación fría; retrasos en el pago de recibos, y deficiencias en la vivienda, como son goteras, humedades en paredes, suelos, techos o cimientos, o podredumbre en suelos, marcos de ventanas o puertas.

Las encuestas de percepciones y declaraciones del hogar (ECV) (Spanish National Statistics Institute, 2014; Tirado Herrero, Jiménez Meneses, López Fernández, Martín Gracia y Perero Van Hove, 2014) estudian la situación climatológica cálida padecida en países como España, realizadas por el Instituto Nacional de Estadística, posibilitando una evaluación de las condiciones de vida de las personas en periodos de calor excesivo, al preguntar por la capacidad de un hogar para mantener una temperatura fresca durante los meses de verano. La principal debilidad aquí viene motivada por su carácter subjetivo, susceptible de crear incertidumbre en los resultados.

En resumen, se debe aclarar que estos indicadores no fueron creados para analizar la problemática asociada a la PE, de modo que se hace necesario incluir nuevas variables que permitan establecer una diferencia entre los problemas asociados a la imposibilidad de un consumo energético mínimo y los relacionados a las características de la vivienda o sistemas de calefacción.

ANÁLISIS ECONÓMICOS

Estos análisis tienen como objetivo explicar una variable a partir de otras, así como de las posibles perturbaciones a las que se pueda ver sometida, analizando su comportamiento. A través de ellos se pretende identificar los colectivos que se encuentran en una situación de mayor vulnerabilidad para padecer una situación de PE, por lo que no identifican una situación de PE en sí. Los estudios de Legendre y Ricci (2014) para Francia y de Miniaci, Scarpa y Valbonesi (2014) para Italia constituyen buenos ejemplos de este tipo de análisis, a través de los cuales se pretende cuantificar la influencia que determinados condicionantes demográficos, socioeconómicos y físicos ejercen en la probabilidad de que un hogar, que *a priori* no esté en pobreza energética, caiga por debajo del umbral de la misma.

Destacan los modelos desarrollados por Walker, McKenzie, Liddell y Morris (2012) y Walker, Liddell, McKenzie y Morris (2013) que introducen técnicas basadas en los Sistemas de Información Geográfica para elaborar un índice de riesgo de PE, evaluando: tamaño de la familia, consumo eléctrico, nivel de ocupación, precio del combustible utilizado, etc. (Walker, McKenzie, Liddell y Morris, 2014).

CONFORT TÉRMICO

El confort térmico puede ser entenderse como "esa condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico" (BS/EN 15251:2007, n.d.). La inclusión del consumidor vulnerable ha motivado el estudio del confort térmico de la vivienda principalmente por su estrecha relación a la salud de las personas (Butcher, 2014; Kolokotsa y Santamouris, 2015), además de su capacidad de permitir una reducción del consumo energético de la vivienda (Hatt, Saelzer, Hempel y Gerber, 2012; Martínez y Kelly, 2015; Van Hooff, Blocken, Hensen y Timmermans, 2015), dado que un confort adecuado en la vivienda conlleva, en efecto, el control de dicho consumo energético (Vilches, Barrios Padura y Molina Huelva, 2017).

La evaluación del confort térmico en una vivienda resulta muy complicada (der Perre, Ness, Thoen, Vandenamee y Engels, 2002; Heijs y Stringer, 1988; M. Bluysen, 2014), fundamentalmente por la gran diversidad de factores que influyen (Bienvenido-Huertas, Rubio-Bellido, Pérez-Fargallo y Pulido-Arcas, 2020). En este sentido, cabe destacar el trabajo de Sánchez-Guevara *et al.* (2014) en el cual utilizan la evaluación del confort de una vivienda como indicador de hogares más vulnerables. A partir del análisis de los datos obtenidos de la simulación y haciendo uso de modelos

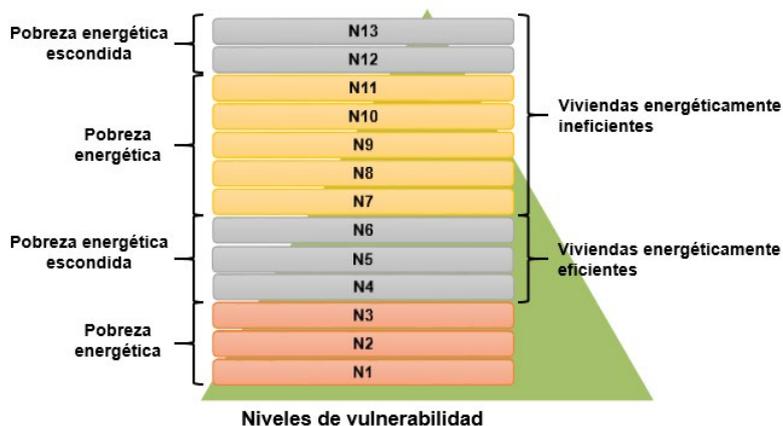


Figura 2. Niveles de vulnerabilidad del Índice de Hogares Vulnerables (IHV).
Fuente: Castaño-Rosa (2018, p. 55).

adaptativos para evaluar el confort térmico (ASHRAE (2013) ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, 2013)(BS/EN 15251:2007, n.d.), identifican el número de horas que el hogar de estudio se encuentra fuera de la zona de confort establecida. Aquellos hogares con un mayor número de horas fuera de la zona de confort serán considerados como más vulnerables.

EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Debido a la relación establecida entre la eficiencia energética de la vivienda, representada por su consumo energético y la PE, son varios los investigadores que promueven reducir dicha situación a través de una disminución en el consumo energético de la vivienda (Braubach y Ferrand, 2013; Rosenow, Platt y Flanagan, 2013; Boardman, 2012). En esta línea, el caso llevado a cabo en Francia por Florio y Teisser (2015) a través del cual se elabora un certificado de eficiencia energética que, a partir del gasto energético estimado de la vivienda, permite evaluar el stock de viviendas característico en ese país. Otro caso es el realizado en Italia por Fabbri (2015), mediante el cual se propone un indicador de PE basado en el rendimiento energético de la vivienda a partir de tres variables: base de datos de certificación de eficiencia energética, monitorización del consumo energético real y estándar del rendimiento energético de la vivienda en función de su antigüedad. La relación establecida entre los datos de consumo energético de las viviendas y los hogares de bajos ingresos económicos (excesivo consumo energético y bajos ingresos), hace posible señalar los hogares en situación de PE que no tienen suficientes ingresos para llevar a cabo medidas de eficiencia energética, incluso recibiendo incentivos económicos. Recientemente, Porrás-Salazar, Contreras-Espinoza, Cartes, Piggot-Navarrete y Pérez-Fargallo (2020), en su último estudio sobre viviendas sociales del centro-sur de Chile, demuestran que un tercio de los entrevistados no pueden mantener una temperatura adecuada en su hogar y, como resultado, tienen problemas

respiratorios y un mayor gasto médico. Concluye que mejorar la eficiencia energética de dichas viviendas para así conseguir una temperatura adecuada durante mayor periodo de tiempo, permitiría reducir el número de familias con problemas respiratorios, y el gasto médico asociado a ellos.

ÍNDICE DE HOGARES VULNERABLES

En una combinación de los indicadores descritos en las secciones anteriores se ha propuesto el Índice de Hogares Vulnerables (IHV) (Castaño-Rosa et al., 2018) que permite un análisis de la situación de vulnerabilidad en relación a sus consecuencias y a su intensidad, así como también la posibilidad de evaluar la medida de rehabilitación energética óptima para mejorar la calidad de vida de los hogares. La Figura 2 muestra gráficamente la composición del IHV: 13 niveles (N1: nivel 1 de vulnerabilidad y menos desfavorable; a N13: nivel 13 de vulnerabilidad y más desfavorable), y asimismo la equivalencia a una situación de pobreza energética o pobreza energética escondida. Su última aplicación, en seis comunidades de vecinos localizadas en el área del Casco Norte de Sevilla, las cuales recibieron financiación por parte del Ministerio de Andalucía para llevar a cabo una intervención de mejora de la eficiencia energética, muestra cómo es posible estimar tanto el coste del Servicio Nacional de Salud asociado a una situación de pobreza energética, como el ahorro conseguido tras una intervención de rehabilitación energética (Castaño-Rosa, Solís-Guzmán y Marrero, 2020). Adicionalmente, el IHV ha sido adaptado y aplicado al contexto británico (Castaño-Rosa, Sherriff, Thomson, Guzmán y Marrero, 2019), sugiriendo que aún hay un importante margen de mejora en la definición de indicadores. El IHV es una nueva herramienta para el análisis e identificación de hogares vulnerables de padecer PE, proporcionando un exhaustivo análisis en la identificación de las diferentes situaciones de vulnerabilidad que un hogar puede padecer (Castaño-Rosa, Sherriff, Solís-Guzmán y Marrero, 2020; Castaño-Rosa et al., 2019).

FUEL POVERTY POTENTIAL RISK INDEX

Con el objetivo de evaluar el riesgo de un hogar a padecer PE en función del lugar donde se localice su vivienda en el contexto de Chile, se aporta el Fuel Poverty Potential Risk Index (FPPRI) (Pérez-Fargallo et al., 2017). El uso del modelo de confort adaptativo permite, a partir de la aplicación del FPPRI, considerar la relación entre los ocupantes y la vivienda en la evaluación del riesgo de padecer PE, en especial para climas templados como las regiones del centro de Chile. El uso del confort adaptativo cubre, en parte, el aspecto subjetivo de la interacción de los ocupantes con la vivienda, reduciendo la posibilidad de sobreestimaciones. Sin embargo, la principal limitación del FPPRI es que debe aplicarse en la fase de diseño de la vivienda y no en hogares ya ocupados. En este contexto, cabe destacar el trabajo realizado por Bienvenido-Huertas et al. (2020) en el que se lleva a cabo la aplicación del FPPRI, en las tres ciudades con mayor población de Chile (Santiago, Concepción y Valparaíso), para predecir el riesgo que tendría un hogar a padecer pobreza energética en una vivienda social en función de las características socioeconómicas de los ocupantes y las características técnicas de la vivienda (Bienvenido-Huertas, Pérez-Fargallo, Alvarado-Amador y Rubio-Bellido, 2019). Este trabajo muestra el potencial del FPPRI para reducir el riesgo de un hogar de padecer una situación de PE en un futuro próximo.

ENERGY POVERTY VULNERABILITY INDEX

La eficiencia energética de la viviendas, la posibilidad de los hogares de implementar medidas y las dificultades en calentar y/o enfriar las viviendas, son los diferentes aspectos analizados por el Energy Poverty Vulnerability Index (EPVI), de aplicación en Portugal (Gouveia et al., 2019). En el caso de estudio definido para su aplicación, donde 3092 distritos fueron analizados, se muestra el potencial del EPVI para identificar las zonas con un mayor riesgo a padecer una situación de PE, permitiendo posteriormente un análisis detallado a nivel local. En definitiva, el EPVI es una herramienta efectiva, de aplicación en Portugal, para la elaboración de políticas nacionales y locales de eficiencia energética. La principal limitación de este índice recae en la disponibilidad de los datos necesarios para su aplicación, lo que imposibilita su aplicación en otros países donde el acceso a la información es más restringido.

DISCUSIÓN

La calidad de la vivienda es compleja de evaluar y posiblemente la más influyente en la PE de un hogar. Por lo que la eficiencia energética puede ser un instrumento decisivo y efectivo en la reducción de la PE, tal como muestra (Porrás-Salazar et al., 2020) influyendo en la calificación energética, la envolvente energética,

las instalaciones, el nivel de ventilación, el estado de conservación y la antigüedad del hogar. Dicha evaluación se realiza mediante datos de consumo energético, por lo que todos los indicadores analizados son capaces, de alguna manera, de establecer una relación, ya sea de forma directa o indirecta, entre la eficiencia energética de una vivienda y la PE. Otra metodología que permite relacionar la calidad de la vivienda con la PE consiste en la evaluación del confort térmico, como se muestra en los trabajos desarrollados por Sánchez-Guevara, Neila González y Hernández Aja (2018); Boemi y Papadopoulos (2019) y Porrás-Salazar et al. (2020).

Uno de los factores más difusos de evaluar es el impacto social que origina la PE, por ejemplo, la exclusión social. La relación entre la PE y la exclusión social se debe a que las familias reducen las actividades sociales con amigos y conocidos por miedo a ser considerados pobres y/o por no poder proporcionar unas condiciones adecuadas en su vivienda para mantener actividades sociales (Longhurst y Hargreaves, 2019). La inclusión de los ingresos familiares por parte de los indicadores basados en gastos e ingresos del hogar, así como los basados en encuestas de percepciones y declaraciones, permiten relacionar la PE y la situación de pobreza económica y/o social.

Otro aspecto importante lo constituye la salud: está constatado que vivir en una casa con temperaturas inadecuadas origina mayores tasas de admisiones hospitalarias y una mayor incidencia y severidad de síntomas asmáticos (Liddell y Morris, 2010). También se ha identificado que la probabilidad de sufrir depresiones o estrés entre los adolescentes que viven en una casa insuficientemente acondicionada es de más del 25%, mientras que en hogares que no experimentan esta problemática es del 5% (Howden-Chapman, Viggers, Chapman, O'Sullivan, Telfar Barnard y Lloyd, 2012). Aunque son los ancianos, los niños y las embarazadas, considerados como población vulnerable, quienes tienen una mayor probabilidad para verse afectados por estas enfermedades (Dear y McMichael, 2011). Además de problemas de salud mental, habitar una vivienda con temperaturas inadecuadas en invierno es una causa asociada a tener problemas de salud física como gripe o resfriado, incluso se acredita al empeoramiento de la situación de personas que padecen artritis y reumatismo (Ortiz, Casquero-Modrego y Salom, 2019). A continuación, la Tabla 2 sintetiza las capacidades identificadas durante la revisión de los indicadores.

CONCLUSIÓN

El objetivo principal de este documento ha sido proporcionar una revisión de los indicadores actuales de pobreza energética más utilizados y reconocidos internacionalmente, siguiendo los criterios definidos en el Observatorio Europeo de la Pobreza Energética, el

Análisis	10%	2M	MIS	LIHC	AFCP	HEP	Encuestas de percepciones	Econométricos	CT	EE	IHV	FPPRI	EPVI
Considera el efecto "heating or eating"	X	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	X	X
Prioriza los bajos ingresos frente a ingresos superiores	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓
Sólo considera el consumo energético requerido para conseguir un confort adecuado	✓	✓	X	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
Incluye las características de la vivienda en el análisis	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Incluye el cumplimiento del confort térmico mínimo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	X
Incluye la eficiencia energética de la vivienda en el análisis	X	X	X	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
Incluye el uso adecuado de las instalaciones del hogar	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
Considera la distribución de los ingresos en el área de estudio	X	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓	X	X
Incluye datos de consumos y gastos reales de los hogares	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	X	✓
Excluye del análisis los grupos considerados más vulnerables físicamente (personas mayores, enfermos crónicos, minusválidos y niños pequeños)	X	X	X	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓
Prioriza la eficiencia energética como medida contra la situación de PE, ocultando el origen del problema: el hogar está en situación de pobreza monetaria	X	X	X	✓	X	X	X	X	✓	✓	X	✓	✓

Tabla 2. Análisis crítico de los indicadores analizados.

10% (indicador del 10%); 2M (indicadores 2M); MIS (Mínimo Ingreso Standard); LIHC (Low Income High Cost); AFCP (After Fuel Cost Poverty); HEP (Hidden Energy Poverty); CT (Confort Térmico); EE (Eficiencia Energética); IHV (Índice de Hogares Vulnerables); FPPRI (Fuel Poverty Potential Risk Index); EPVI (Energy Poverty Vulnerability Index). Fuente. Elaboración de los autores.

Observatorio de Pobreza Energética de México, y la Red de Pobreza Energética de Chile, en cuanto a su capacidad para identificar aquellos hogares en riesgo de padecerla (ver Tabla 2). Con este fin, los factores de vulnerabilidad energética (infraestructuras disponibles, eficiencia energética, pobreza monetaria y social, bienestar y salud), aportados por Bouzarovski *et al.* (2014), se han empleado para analizar la efectividad de los indicadores actuales de PE, que se pueden agrupar de acuerdo con los indicadores en que se basan: ingresos-gastos; condiciones auto-informadas; análisis econométrico; comodidad térmica; y eficiencia energética.

La principal debilidad de todos estos indicadores radica en la imposibilidad de que un solo indicador considere todos los factores posibles que influyen en la actividad cotidiana de los hogares, como el confort térmico, la salud y el bienestar. En consecuencia, se proporciona un análisis incompleto si se usan de forma aislada, principalmente debido a imprecisiones de exclusión (por lo que los hogares que deberían recibir beneficios no son reconocidos por las estrategias de los gobiernos) e inexactitudes en la inclusión (debido a las cuales los hogares que no están en riesgo de sufrir pobreza energética cumplen con los criterios de elegibilidad y, por lo tanto, reciben apoyo). Por lo tanto, es necesario combinar varios indicadores y analizar sus resultados para determinar si se logra un análisis holístico tanto de las características técnicas de la vivienda como de la situación del hogar.

La discusión presentada en este documento expone las debilidades de los indicadores de PE existentes en la identificación de hogares en riesgo y conduce a la definición de un enfoque de indicadores múltiples que reúna tantos factores como sea posible. Además, debido a la complejidad de extrapolar los indicadores definidos a otros países, o zonas climáticas, con diferente contexto social y económico, se argumenta la necesidad de que cada país defina la PE acorde a las circunstancias del contexto para desarrollar políticas concretas y eficaces. Por último, en el caso particular de la Unión Europea, la falta de definiciones e indicadores adecuados en la mayoría de los estados miembros lleva a esta investigación a proporcionar un punto de partida.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación forma parte del proyecto Nuevo Análisis Integral de la Pobreza Energética en Andalucía (NAIPE). Predicción, evaluación y adaptación al cambio climático de hogares vulnerables desde una perspectiva económica, ambiental y social. Referencia US-1255465. Financiado dentro de la convocatoria de Proyectos I+D+i FEDER Andalucía 2014-2020 por la Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía (España).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (2013) ANSI/ASHRAE Standard 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (2013). Atlanta.
- ASSIST 2GETHER. (2018). *REPORT ON NATIONAL AND EUROPEAN MEASURES ADDRESSING VULNERABLE CONSUMERS AND ENERGY POVERTY*. EU. Recuperado de https://www.assist2gether.eu/documenti/risultati/report_on_national_and_european_measures_addressing_vulnerable_consumers_and_energy_poverty.pdf
- Bazilian, M., Sagar, A., Detchon, R. y Yumkella, K. (2010). More heat and light. *Energy Policy* 2010, 38(10), 5409–5412. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.007>
- Bienvenido-Huertas, D., Pérez-Fargallo, A., Alvarado-Amador, R. y Rubio-Bellido, C. (2019). Influence of climate on the creation of multilayer perceptrons to analyse the risk of fuel poverty. *Energy and Buildings*, 198, 38–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.063>
- Bienvenido-Huertas, D., Rubio-Bellido, C., Pérez-Fargallo, A. y Pulido-Arcas, J. A. (2020). Energy saving potential in current and future world built environments based on the adaptive comfort approach. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119306. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119306>
- Birol, F. (2007). Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda? *Energy Journal* 2007, 28(3), 1–6.
- Boardman, B. (2010). *Fixing Fuel Poverty. Challenges and Solutions*. London: Earthscan.
- Boardman, B. (2012). *Achieving zero. Delivering future-friendly buildings*. Oxford: Oxford.
- Boemi, S. N. y Papadopoulos, A. M. (2019). Energy poverty and energy efficiency improvements: A longitudinal approach of the Hellenic households. *Energy and Buildings*, 197, 242–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.027>
- Bouzarovski, S., Petrova, S. y Tirado-Herrero, S. (2014). *From Fuel Poverty to Energy Vulnerability: The Importance of Services, Needs and Practices*. (No. Science Policy Research Unit). Manchester. Retrieved from <http://www.sussex.ac.uk/spru/research/swps>
- Bouzarovski, S. y Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty-fuel poverty binary. *Energy Research and Social Science*, 10(10), 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>
- Bradshaw, J., Middleton, S., Davis, A., Oldfield, N., Smith, N., Cusworth, L. y Williams, J. (2008). *A Minimum Income Standard for Britain: What people think*. York: Joseph Rowntree Foundation.
- Braubach, M. y Ferrand, A. (2013). Energy efficiency, housing, equity and health. *International Journal of Public Health* 2013, 58(3), 331–332. <https://doi.org/10.1007/s00038-012-0441-2>
- BS/EN 15251:2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. London: BSI, 2007.

- Butcher, J. (2014). *Fuel Poverty How To Improve Health and Wellbeing Through Action on Affordable Warmth*. London: UK Health Forum 2014.
- Castaño-Rosa, R. (2018). *Identificación de hogares vulnerables a partir del concepto pobreza energética. Indicador y modelo de evaluación*. University of Seville.
- Castaño-Rosa, R., Sherriff, G., Solís-Guzmán, J. y Marrero, M. (2020). The validity of the index of vulnerable homes: evidence from consumers vulnerable to energy poverty in the UK. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1717677>
- Castaño-Rosa, R., Sherriff, G., Thomson, H., Guzmán, J. S. y Marrero, M. (2019). Transferring the index of vulnerable homes: Application at the local-scale in England to assess fuel poverty vulnerability. *Energy and Buildings*, 203, 109458. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109458>
- Castaño-Rosa, R., Solís-Guzmán, J. y Marrero, M. (2018). A novel Index of Vulnerable Homes: Findings from application in Spain. *Indoor and Built Environment*, 1420326X18764783. <https://doi.org/10.1177/1420326X18764783>
- Castaño-Rosa, R., Solís-Guzmán, J. y Marrero, M. (2020). Energy poverty goes south? Understanding the costs of energy poverty with the index of vulnerable homes in Spain. *Energy Research & Social Science*, 60, 101325. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101325>
- Castaño-Rosa, R., Solís-Guzmán, J., Rubio-Bellido, C. y Marrero, M. (2019). Towards a multiple-indicator approach to Energy Poverty in the European Union: a review. *Energy and Buildings*, 193, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.039>
- Dear, K. B. G. y McMichael, A. J. (2011). The health impacts of cold homes and fuel poverty. *BMJ (Clinical Research Ed.)* 2011, 342, d2807. <https://doi.org/10.1136/bmj.d2807>
- Der Perre, L., Ness, R., Thoen, S., Vandenameele, P. y Engels, M. (2002). Understanding the indoor environment. En M. Engels (Ed.), *Wireless OFDM Systems: How to make them work?* (pp. 11–31). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/0-306-47685-1_2
- (EnAct). (n.d.). The ENERGY ACTION project. Recuperado de <http://www.coldathome.today/>. European Commission. (2014). European Union Statistics on Income and Living Conditions (EU-SILC).
- European Commission (n.d.). Energy Roadmap 2050. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic And Social Committee and the Committee of the Regions*, 1-20. <https://doi.org/10.2833/10759>
- European Commission. (2018). EU Energy Poverty Observatory (CN ENER/B3/SER/2015-507/SI2.742529). Recuperado de <https://www.energy-poverty.eu/>
- Fabbri, K. (2015). Building and fuel poverty, an index to measure fuel poverty: An Italian case study. *Energy*, 89, 244–258. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.073>
- Florio, P. y Teissier, O. (2015). Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterised via qualitative variables through a typology-based approach model: A fuel poverty evaluation tool. *Energy and Buildings*, 89, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.024>
- Gatto, A. y Busato, F. (2020). Energy vulnerability around the world: The global energy vulnerability index (GEVI). *Journal of Cleaner Production*, 253, 118691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118691>
- Gouveia, J. P., Palma, P. y Simoes, S. G. (2019). Energy poverty vulnerability index: A multidimensional tool to identify hotspots for local action. *Energy Reports*, 5, 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.12.004>
- Hatt, T., Saelzer, G., Hempel, R. y Gerber, A. (2012). High indoor comfort and very low energy consumption through the implementation of the Passive House standard in Chile. *Revista de La Construcción* 2012, 11(2), 123–134. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200011>
- Heijs, W. y Stringer, P. (1988). Research on residential thermal comfort: some contributions from environmental psychology. *Journal of Environmental Psychology*, 8(3), 235–247. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(88\)80012-4](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(88)80012-4)
- Heindl, P. (2015). Measuring Fuel Poverty: General Considerations and Application to German Household Data. *Finanz Arch* 2015, 71(2), 178–215. <https://doi.org/10.1628/001522115X14285723527593>
- Herrero, S. T. (2017). Energy poverty indicators: A critical review of methods. *Indoor and Built Environment*, 26(7), 1018–1031. <https://doi.org/10.1177/1420326X17718054>
- Hills, J. (2012). *Getting the measure of fuel poverty. Final Report of the Fuel Poverty Review*. Centre for the Analysis of Social Exclusion. London.
- Howden-Chapman, P., Viggers, H., Chapman, R., O'Sullivan, K., Telfar Barnard, L., y Lloyd, B. (2012). Tackling cold housing and fuel poverty in New Zealand: A review of policies, research, and health impacts. *Energy Policy* 2012, 49, 134–142.
- Isherwood, B.C. y Hancock, R. M. (1979). Household expenditure on fuel: distributional aspects. *Economic Adviser's Office, DHSS, London*.
- Kolokotsa, D. y Santamouris, M. (2015). Review of the indoor environmental quality and energy consumption studies for low income households in Europe. *Science of the Total Environment* 2015, 536(February 2016), 316–330. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.073>
- Legendre, B. y Ricci, O. (2014). Measuring fuel poverty in France: which households are the most vulnerable? *Energy Economics* 2014, 49, 620–628. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.022>
- Liddell, C. y Morris, C. (2010). Fuel poverty and human health: A review of recent evidence. *Energy Policy* 2010, 38(6), 2987–2997. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.037>

- Longhurst, N. y Hargreaves, T. (2019). Emotions and fuel poverty: The lived experience of social housing tenants in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, 56, 101207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.017>
- M. Bluysen, P. (2014). *The Healthy Indoor Environment: How to assess occupants' wellbeing in buildings*. New York: Routledge.
- Martínez, P. W. y Kelly, M. T. (2015). Integration of performance criteria in the energy-environmental improvement of existing social housing in Chile. *Ambiente Construído* 2015, 15(2), 47–63. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000200013>
- Meszerics, T. (ed.) (2016). *Energy Poverty Handbook*. Brussels: European Union.
- Middlemiss, L. (2016). A critical analysis of the new politics of fuel poverty in England. *Critical Social Policy*, 37(3), 425–443.
- Miniaci, R., Scarpa, C. y Valbonesi, P. (2014). *Fuel Poverty and the Energy Benefits System: The Italian Case*. (No. 66). Milano.
- Moore, R. (2012). Definitions of fuel poverty: Implications for policy. *Energy Policy* 2012, 49, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.057>
- O'Brien, G. y Hope, A. (2010). Localism and energy: Negotiating approaches to embedding resilience in energy systems. *Energy Policy*, 38(12), 7550–7558. Recuperado de http://nrl.northumbria.ac.uk/8515/1/Localism_and_Energy_Negotiating_approaches_to_embedding_resilience_in_energy_systems.pdf
- Observatorio de Pobreza Energética en México. (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from <https://pobrezaenergetica.mx/inicio>
- Ortiz, J., Casquero-Modrego, N. y Salom, J. (2019). Health and related economic effects of residential energy retrofitting in Spain. *Energy Policy*, 130, 375–388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.013>
- Paugan, S. (1995). The spiral of precariousness: a multidimensional approach to the process of social disqualification in France. *Policy Press*, (47996), 47–79.
- Peneva, T. (2016). *Mechanism for Protection of Vulnerable Consumers in Bulgaria*. Recuperado de <http://fuelpoverty.eu/2016/10/18/mechanism-for-protection-of-vulnerable-consumers-in-bulgaria/>
- Pérez-Fargallo, A., Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A. y Trebilcock, M. (2017). Development policy in social housing allocation: Fuel poverty potential risk index. *Indoor and Built Environment*, 26(7), 980–998. <https://doi.org/10.1177/1420326X17713071>
- Porrás-Salazar, J. A., Contreras-Espinoza, S., Cartes, I., Piggot-Navarrete, J. y Pérez-Fargallo, A. (2020). Energy poverty analyzed considering the adaptive comfort of people living in social housing in the central-south of Chile. *Energy and Buildings*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110081>
- Rademaekers, K., Yearwood, J., Ferreira, A., Pye, S., Ian Hamilton, P., Agnolucci, D. G., ... Anisimova, N. (2016). *Selecting Indicators to Measure Energy Poverty*. Rotterdam.
- Red de Pobreza Energética (RedPE). Universidad de Chile. (2017). Recuperado de <http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/>
- Romero, J. C., Linares, P., López Otero, X., Labandeira, X. y Pérez Alonso, A. (2015). *Energy poverty in Spain. Economic analysis and proposals for action. Economics for Energy*. Madrid.
- Rosenow, J., Platt, R. y Flanagan, B. (2013). Fuel poverty and energy efficiency obligations - A critical assessment of the supplier obligation in the UK. *Energy Policy* 2013, 62, 1194–1203. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.103>
- Sánchez-Guevara Sánchez, C., Neila Gonzalez, F. J. y Hernández Aja, A. (2014). Towards a fuel poverty definition for Spain. In *World Sustainable Building Conference* (pp. 11–17). Barcelona: World Sustainable Building Conference 2014.
- Sánchez-Guevara Sánchez, C., Neila González, F. J. y Hernández Aja, A. (2018). Energy poverty methodology based on minimal thermal habitability conditions for low income housing in Spain. *Energy and Buildings*, 169, 127–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.038>
- Schuessler, R. (2014). Energy Poverty Indicators: Conceptual Issues. *Centre for European Economic Research (ZEW), Discussion Paper Series* 2014, 14(14), 37.
- Shonali Pachauri, D. S. (2004). Energy Use and Energy Access in Relation to Poverty. *Economic and Political Weekly* 2004, 39(3), 271–278. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/4414526>
- Sokołowski, J., Lewandowski, P., Kielczewska, A. y Bouzarovski, S. (2020). A multidimensional index to measure energy poverty: the Polish case. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1742817>
- Spanish National Statistics Institute. (2014). *Survey on Living Conditions (SLC)*. Madrid.
- Thomson, H., Snell, C. y Liddell, C. (2016). Fuel poverty in the European Union: a concept in need of definition? *People, Place & Policy*, 10/1, 5–24. <https://doi.org/10.3351/ppp.0010.0001.0002>
- Tirado Herrero, S., Jiménez Meneses, L., López Fernández, J. L., Martín Gracia, J. y Perero Van Hove, E. (2014). *Energy poverty in Spain. Trend analysis*. (Asociación de Ciencias Ambientales (ACA), Ed.) (1ª.). Madrid.
- Tirado Herrero, S. y Üрге-Vorsatz, D. (2012). Trapped in the heat: A post-communist type of fuel poverty. *Energy Policy*, 49, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.067>
- Van Hooff, T., Blocken, B., Hensen, J. L. M. y Timmermans, H. J. P. (2015). Reprint of: On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment* 2015, 83, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.006>
- Vilches, A., Barrios Padura, Á. y Molina Huelva, M. (2017). Retrofitting of homes for people in fuel poverty: Approach based on household thermal comfort. *Energy Policy*, 100, 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.016>

Walker, R., Liddell, C., McKenzie, P. y Morris, C. (2013). Evaluating fuel poverty policy in Northern Ireland using a geographic approach. *Energy Policy* 2013, 63, 765–774. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.047>

Walker, R., McKenzie, P., Liddell, C. y Morris, C. (2012). Area-based targeting of fuel poverty in Northern Ireland: An evidenced-based approach. *Applied Geography* 2012, 34, 639–649. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.002>

Walker, R., McKenzie, P., Liddell, C. y Morris, C. (2014). Estimating fuel poverty at household level: An integrated approach. *Energy and Buildings* 2014, 80, 469/479. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.004>

Welsh, M. (2014). Resilience and responsibility: governing uncertainty in a complex world. *The Geographical Journal*, 180(1), 15–26. <https://doi.org/10.1111/geoj.12012>





COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE TRES PROTOTIPOS EN SALTILLO, COAHUILA (BLOQUES DE TIERRA, CONCRETO Y TAPA DE HUEVO)

Recibido 31/03/2020
Aceptado 01/07/2020

THERMAL BEHAVIOR OF THREE PROTOTYPES IN SALTILLO, COAHUILA (WITH EARTH BLOCKS, CONCRETE AND EGG CARTONS)

MARÍA EUGENIA MOLAR OROZCO

Doctora en investigación en energía y medio ambiente
de la Arquitectura
Docente e Investigadora de la Facultad de Arquitectura,
Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Saltillo, Arteaga, México
<https://orcid.org/0000-0001-5357-5893>
mariamolar@uadec.edu.mx

JESÚS VELÁZQUEZ-LOZANO

Magíster en Diseño Arquitectónico
Docente e Investigador de la Facultad de Arquitectura,
Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Saltillo, Arteaga, México
<https://orcid.org/0000-0003-2783-9319>
jvelazqu@uadec.edu.mx

MARÍA GENOVEVA VÁZQUEZ-JIMÁNEZ

Magíster en Diseño Arquitectónico
Docente e Investigadora de la Facultad de Arquitectura
Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Saltillo, Arteaga, México
<https://orcid.org/0000-0002-5150-9726>
gvazquez@uadec.edu.mx

RESUMEN

El cambio climático se ha ido agravando en el siglo XX, genera modificaciones estacionales a nivel global en el hábitat, se observan variaciones importantes en los factores climáticos, aumentando las temperaturas en las ciudades. En México el acondicionamiento térmico de las viviendas repercute en gran medida sobre la demanda de electricidad, siendo mayor en las zonas norte y costeras del país, el rol de la envolvente es mantener un equilibrio entre el exterior y el interior, refiriéndose a las ganancias o pérdidas de calor, que se logran a través de su transferencia producto de las variaciones de la temperatura. El objetivo del trabajo fue comparar el comportamiento térmico de tres módulos ubicados en Saltillo, Coahuila; construidos de tres distintos materiales: uno experimental y dos de uso común en las viviendas de Saltillo, la metodología es de enfoque cuantitativo, se realizaron mediciones del 2018 al 2019, los resultados muestran que el material experimental con respecto a los otros materiales comerciales no tienen diferencias relevantes en los meses más críticos que son enero y mayo, apenas 1 o 2 grados, por lo que es pertinente seguir experimentando y complementar con un sistema pasivo, como un pozo canadiense, con la meta de mejorar el confort en el hábitat construido.

Palabras clave

Bloque, edificación, temperatura ambiental

ABSTRACT

Climate change has been worsening in the 20th century, causing seasonal changes in the habitat at a global level. Significant variations in climate factors are seen, increasing temperatures in cities. In Mexico, thermal conditioning of houses has a major impact on the electricity demand, which is greater in the northern and coastal areas of the country. The role of the envelope, when referring to heat gains or losses that are achieved by their temperature variation transfer, is to maintain a balance between the outside and the inside. The goal of this work was to compare the thermal behavior of three modules located in Saltillo, Coahuila; built using three different materials, one experimental and two commonly used in Saltillo homes. The methodology has a quantitative focus and measurements were made from 2018 to 2019. The results show that there are no relevant differences between the experimental material and other commercial materials in the most critical months, January and May, with just 1 or 2 degrees. Thus, it is relevant to continue experimenting and complementing with a passive system, like a Canadian well, with the goal of improving comfort in the built habitat.

Keywords

Blocks, edification, room temperature

INTRODUCCIÓN

El cambio climático en el siglo XX ha generado modificaciones estacionales a nivel global en el hábitat, observándose variaciones importantes en los factores del clima que afectan directamente el confort al interior de las viviendas. En efecto, los climas que antes se consideraban templados ya no mantienen esta categoría, en tanto que, los climas cálidos son más extremos que antes, lo que trae como consecuencia la necesidad de adaptar el hábitat de las viviendas para mejorar el confort.

A juicio de Delfín, Gallina y López (2014), el hábitat tiene la responsabilidad de cumplir con las condiciones adecuadas para una especie, partiendo de dos vertientes: hábitat real, que se refiere a la presencia de la especie en un espacio, y hábitat potencial, que implica que un área donde no está presente una especie potencialmente pueda constituir hábitat para ella.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1999) señala que, la estructura de la vivienda para grupos en pobreza no presenta las condiciones necesarias para servir como albergue que proteja adecuadamente de temperaturas extremas, ruido, entre otros factores. Múnera (2011), por su parte, considera que el hábitat y, en particular, la vivienda, se convierten en "objetos" de intervención y manipulación, convirtiéndose en mercancía, al estandarizar la producción en serie de la vivienda de interés social por parte del sector privado.

La Secretaría de Energía (SENER y CONUEE, 2011) indica que:

En México, el acondicionamiento térmico de las viviendas repercute en gran medida en la demanda pico del sistema eléctrico, siendo mayor su impacto en las zonas Norte y costeras del país, en donde es más común el uso de sistemas activos. (p.1)

En este marco, Herrera (2017) señala que se establecen especificaciones técnicas de aplicación obligatoria, entre ellas, la Norma Mexicana Eficiencia Energética en Edificaciones y la Envolvente de edificios para uso habitacional (NOM-020-ENER-2011), cuyo objetivo es el de:

Limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, racionalizando el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento y mejorando las condiciones de confort térmico al interior de los espacios de la vivienda. (SENER y CONUEE, 2011, p. 1)

García, Kochova, Pugliese y Sopoliga (2010) plantean que una vivienda es como una caja que respira, ya que en base al clima externo activa diferentes mecanismos para regular el calor; pero, además, una construcción depende del diseño, forma y envolvente, dando como resultado confort o desconfort por dos parámetros constantes:

la temperatura y la humedad. Ambos juegan un rol importante en el resultado final. Estos autores junto con Costantini, Carro Pérez y Francisca (2016) sugieren que:

La elección de los materiales de construcción es clave para alcanzar altos niveles de confort a un bajo coste. Por ejemplo, un ladrillo cerámico hueco tiene muy buenas propiedades aislantes (o alta resistencia térmica) pero existen otros materiales como la arcilla térmica que aun presenta un mejor rendimiento (p.12).

La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) conjuntamente con la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ) implementaron el programa de Medidas de mitigación apropiadas a cada país (NAMA) para desarrollar vivienda sustentable en México. El problema es que existen escasos materiales con etiqueta verde, con base en la capacidad térmica y el retardo térmico. Este último se refiere al tiempo en que pasa el calor o frío del exterior al interior (Morris, 2017) para mantener comfortable un espacio sin la necesidad de utilizar un sistema artificial y, por consiguiente, sin generar una alta demanda de consumo de energía (Roux, 2018).

De acuerdo con Calderón (2019), es posible construir un hábitat sustentable usando materiales reciclados y de precios bajos, sin afectar el presupuesto destinado para su construcción y, a su vez, mejorar el confort térmico. Asimismo, Herrera (2017) afirma que utilizar de manera adecuada los materiales de construcción de acuerdo con sus propiedades térmicas permite que las viviendas se acerquen a niveles de confort en cada una de las zonas climáticas, impactando menos al entorno próximo y demandando menos energía no renovable. Ante todo, recomienda evaluar los espesores de masa térmica, incluso las dimensiones de los materiales estudiados.

La envolvente tiene la función de mantener un equilibrio entre el exterior y el interior, refiriéndose a las ganancias o pérdidas de calor que se logran a través de su transferencia producto de las variaciones de la temperatura exterior. En invierno, el calor se genera en el interior de la construcción y se pierde en espacios con baja temperatura o se dispersa al exterior por las aberturas; en verano, la ganancia se obtiene del exterior al interior, debido a la falta de protección, o bien, de los materiales que son buenos conductores y de las condiciones del entorno que no ayudan a reducir el aumento de energía en el espacio interior.

Por otra parte, con el fin de alcanzar temperaturas interiores de bienestar térmico, en todo tipo de edificio, la hermeticidad juega un rol importante para contribuir a una reducción o aumento de la temperatura interior (Molina, Lefebvre, Horn y Gómez, 2020). Muñoz, Marino y Thomas (2015) consideran la orientación de una construcción un factor sobre el consumo energético necesario para su funcionamiento, por lo que al evaluar su comportamiento se debe tomar en cuenta los aportes de los componentes de la envolvente (muros, aberturas y techos).

En estudios previos realizados por Molar, Velázquez y Gómez (2018), se señala que:

En mayo las temperaturas de las viviendas muestran un comportamiento térmico acorde a los rangos de confort en verano, pero en enero se tienen temperaturas muy bajas, con una gran amplitud térmica entre el día y la noche, en consecuencia, se demanda el uso de calefacción para mejorar las condiciones al interior (p. 7).

La lectura de temperatura interior fuera de estos rangos manifiesta que las pérdidas o ganancias de calor son producto de una inadecuada selección de los materiales de la envolvente. Si bien, en ocasiones, esto se debe a aberturas, determinada orientación y materiales en general, se ha explorado que por unidad de área son los elementos de la envolvente los que más transfieren calor del exterior al interior (Huelsz, Molar y Velázquez, 2014; Espinoza, Cordero, Ruíz y Roux, 2017). El proceso de transferencia de calor se produce por la captación de la radiación solar conducida a través del material hacia el interior y liberada gracias a la convección, lo cual afecta el comportamiento térmico ambiental al interior del edificio.

En pruebas de simulación con el programa Ener-habitat para el clima de Saltillo (Molar y Huelsz, 2017), se comparó el valor de la carga térmica total del mes de mayo, según un espesor determinado. De entre distintas orientaciones, la que registró mayor carga fue la oeste; pero, en enero, e iguales condiciones, la orientación con mayor carga fue la norte.

Otro aspecto recomendado es el de analizar una edificación de forma anual (Rodríguez, Nájera y Martín, 2018), lo que significa que, si solo se estudian las condiciones de verano o invierno, es posible mejorar el desempeño térmico en un solo periodo, pero podría afectarse el otro, de lo que resultaría la neutralización de las ganancias o ahorros.

En virtud de lo anterior, el CA de Tecnología en la Arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Coahuila Campus Arteaga, ha realizado investigación con materiales de desechos industriales no tóxicos y naturales, con el objetivo de desarrollar sistemas constructivos sustentables que mejoren las condiciones de confort térmico del hábitat construido. En este artículo se presentan, precisamente, los resultados de un proyecto llevado a cabo en ese contexto y desarrollado desde el año 2018 al 2019. En él se compara el comportamiento térmico de la envolvente de tres módulos ubicados en Saltillo, Coahuila, construidos con tres distintos materiales: el bloque de concreto (el más empleado en la construcción), el bloque de tierra comprimida (típico de localidad) y un material experimental previamente probado como sistema constructivo (Velázquez y Molar, 2016). El objetivo es conocer sus resultados de acuerdo a orientaciones determinadas.

METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación es cuantitativo, de forma transversal, con un trabajo documental y estudio de caso en campo. Concretamente, se hicieron mediciones en el sitio, de acuerdo con la norma ASTM Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components, la cual establece que se debe recoger información del entorno del hábitat analizado y luego compararla con los datos obtenidos al interior de los 3 módulos.

Así, se emplearon dos dispositivos:

1. Para medir la temperatura de las superficies, se empleó un termómetro infrarrojo, al cual se introduce el tipo de emisividad de acuerdo con el material de la envolvente horizontal y vertical, siempre cuidando medir en el mismo punto, a una altura intermedia de la superficie. Las tomas de temperatura se realizaron en la parte central de los muros al interior y exterior; en el caso de la cubierta solo se registró la parte interior, en el centro de la superficie.
2. Para medir la temperatura ambiente y el porcentaje de humedad, se emplearon dos registradores datalogger de temperatura y humedad relativa: uno para el exterior y el otro para el interior de cada módulo. Las mediciones se realizaron bajo sombra en el exterior y al interior en la parte intermedia del espacio.

Durante el periodo de medición, los módulos se mantuvieron en las mismas condiciones, no fueron habitados por nadie, por lo tanto, no hubo ganancia interna, pero sí se consideró ganancia solar por conducción y convección por los vanos.

Las mediciones se efectuaron de forma periódica, una semana al mes, en las jornadas próximas al día de solsticios y equinoccios, a cada hora, entre las 9:00 a las 15:00 horas, rango de mayor captación de radiación, a partir de mayo de 2018 hasta mayo de 2019. Se compararon, posteriormente, los datos exteriores con los interiores de los hábitats, registrando solo los datos diurnos, debido a que las condiciones de seguridad no permitían realizar mediciones nocturnas. Los datos se vaciaron en un formato y fueron procesados; se identificaron entonces los meses más críticos, descartándose los demás por ubicarse dentro de la zona de confort. En este caso, solo se muestran los resultados de mayo y enero.

Con propósitos comparativos, se determinó la zona de confort para Saltillo, Coahuila, de acuerdo con los criterios de Szokolay (2014) y ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 que proporciona el programa CONFORT ANSI ASHRAE de Excel de Luna (2019), para verano e invierno.

Para el cálculo de la temperatura neutra, se emplea la fórmula de Auliciems (Szokolay, 2014, p. 20) (ecuación 1).

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{mm} \quad (1)$$

Donde T_n es la temperatura neutra y T_{mm} es la temperatura promedio del mes.

$T_n = 17.6 + (0.31 \cdot 12.1)$
 $T_n = 21.4 \text{ °C}$ para el mes de enero y
 $T_n = 17.6 + (0.31 \cdot 22.3)$
 $T_n = 24.5 \text{ °C}$ para el mes de mayo

Los rangos de temperatura de confort oscilan entre $(T_n - 2.5) \text{ °C}$ a $(T_n + 2.5) \text{ °C}$, según lo plantea Szokolay (2014, p. 21), por lo que, para Saltillo, en el mes de enero, cuya temperatura promedio es de 12.1 °C , el rango de confort es de 21.4 a 23.9 °C ; mientras que en el mes de mayo, con temperatura promedio de 22.3 °C , los valores de confort van de 22 a 27 °C .

DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOTIPOS

El proyecto se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Coahuila, los tres módulos están ubicados dentro de la zona universitaria denominada Camporredondo, en Saltillo, Coahuila (Figura 1).

La ciudad de Saltillo se encuentra a 1600 metros sobre el nivel del mar, con latitud $25^\circ 22' 35''$ y longitud $101^\circ 01' 00''$, según CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), posee un clima seco templado y seco cálido con pocas precipitaciones a lo largo del año.

Los tres hábitats (Tabla 1) cuentan con similar dimensión en largo, alto, ancho (por el tamaño de los bloques) y misma orientación (NE, ES, SO y NO), se procuró cierta separación para no generar sombra entre sí, ni obstruir la circulación del aire. La envolvente (muros y cubierta) de cada módulo corresponde a cada tipo de material: bloque de tierra comprimida (BTC), bloque de concreto (BC) y bloque de tapa de huevo con termolita y cemento (BTH) (Tabla 2). Ninguno de los módulos cuenta con recubrimiento en exterior ni interior; sí, con dos aberturas, una pequeña ventana y la puerta, en orientación SO (Figura 2).

Módulo	Dimensión m
	(ancho, largo y alto)
Módulo de Bloque de tierra comprimida (BTC)	1.4 x 2.20 x 2.36
Módulo de Bloque de concreto (BC)	1.47 x 2.26 x 2.50
Módulo de Bloque de tapa de huevo con termolita y cemento (BTH)	1.57 x 2.21 x 2.45

Tabla 1. Dimensión de módulos.
 Fuente: Elaboración de los autores.

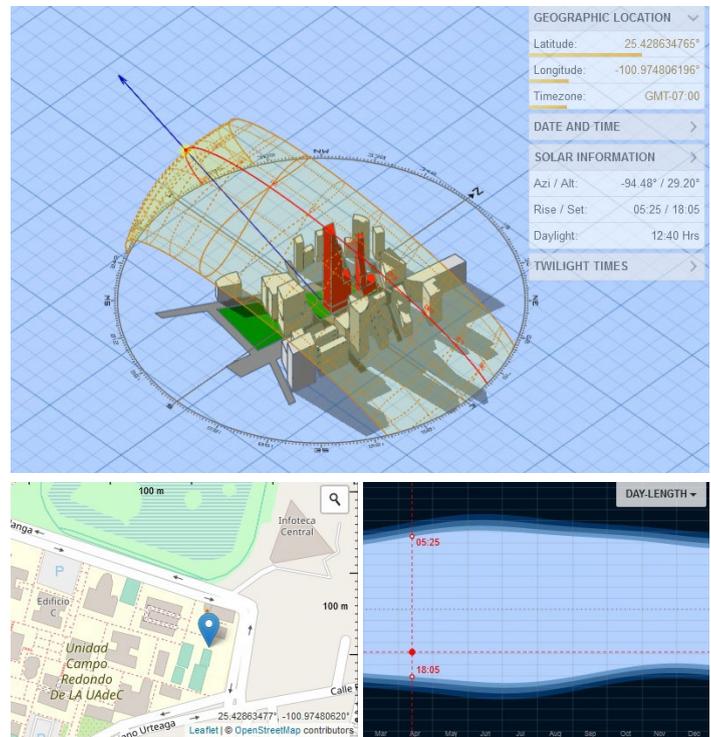


Figura 1. Ubicación de los módulos. Fuente: Andrewmarsh.com. PD: 3D Sun Path.



Figura 2. Vista de los módulos (de izquierda a derecha: de bloques de tapa de huevo con termolita y cemento -BTH-, de bloque concreto -BC- y de bloque de tierra comprimida -BTC-). Fuente: Elaboración del autor.

Material	Dimensión cm
	(ancho, largo y alto)
Bloque de tierra comprimida (BTC)	20 x 40 x 12
Bloque de concreto	14.5 x 39.5 x 19
Bloque de tapa de huevo con termolita y cemento (BTH)	10 x 69 x 35

Tabla 2. Dimensiones de los bloques.
 Fuente: Elaboración de los autores.

El prototipo experimental BTH, compuesto por materiales ligeros como termolita, cemento portland, arena y tapa de huevo, fue probado en 2015 por el Dr. Raúl Ernesto Canto Cetina y el Dr. Porfirio Nanco Hernández, obteniéndose una Conductancia de 2.59W/m²°C, con una Resistencia térmica de 386m²°C/W (Velázquez y Molar, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Gráficos 1 a 5 corresponden a los datos obtenidos en enero de 2019, a partir de los cuales se advierte que la máxima temperatura se alcanza entre las 12:00 y 13:00 h en la orientación SO. En general, la temperatura de la superficie al interior registra alrededor de 15 a 10°C de diferencia respecto a la superficie exterior, aun con los vanos abiertos.

La máxima temperatura en las superficies exteriores en el módulo de bloque de tierra comprimida (BTC) (Gráfico 1) se da en la orientación SE y SO a las 12:00 y 13:00 h, alcanzando 34 y 35°C, respectivamente, esto es, 15°C de diferencia respecto a las superficies interiores; mientras que las lecturas de las orientaciones NE y NO presentan un comportamiento similar de las caras interiores, al no tener radiación directa. A las 14:00 h se observa que, aun cuando la superficie exterior NO inicia el ascenso de temperatura al recibir radiación, su cara interior no aumenta la temperatura, presentándose una diferencia entre ellas de 4°C. A las 11:00, el aumento de temperatura de las superficies interiores fue de 5°C y a las 13:00, volvieron a descender.

La máxima temperatura en la superficie exterior en el módulo de muro de bloque de concreto (BC) (Gráfico 2) se da en la orientación SO a las 13:00 h, con 43°C, es decir, 20°C de diferencia respecto a su superficie interior. En este módulo las temperaturas de las caras interiores de las superficies a las 11:00 h tuvieron un aumento de 5 a 10°C de diferencia con respecto a la temperatura ambiente exterior. Las superficies exteriores NO y NE mostraron de 5 a 8°C más que la temperatura exterior, aun estando bajo sombra, alcanzando 25°C.

La temperatura del módulo construido con bloques de tapa de huevo con termolita y cemento (BTH) (Gráfica 3) evidencia que la máxima temperatura en la superficie exterior se genera en la orientación SO a las 13:00 horas, con 45°C y 20°C de diferencia respecto a la cara interior, las temperaturas interiores de las superficies se mantuvieron por arriba de la temperatura ambiente exterior, entre 5 y 7°C de diferencia. Mientras, las superficies exteriores NO y NE registraron de 5 a 9°C de distancia, aun cuando no hubo radiación directa; pero la temperatura al interior de estas superficies se mantuvo 3°C por debajo.

De acuerdo con el Gráfico 4, en esta temporada no se alcanzan altas temperaturas en las cubiertas debido al contacto del aire frío que tiende a absorber el calor de

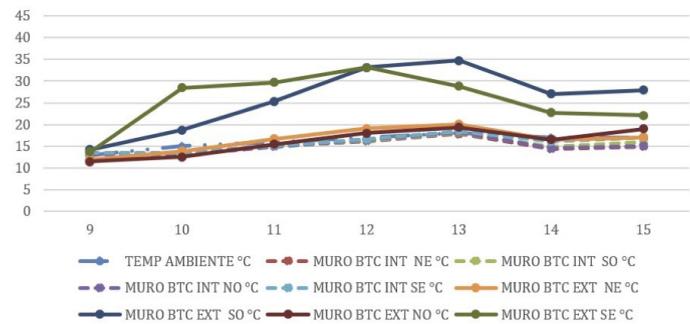


Gráfico 1: Comportamiento de temperaturas exteriores e interiores de muros del módulo de BTC (enero 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

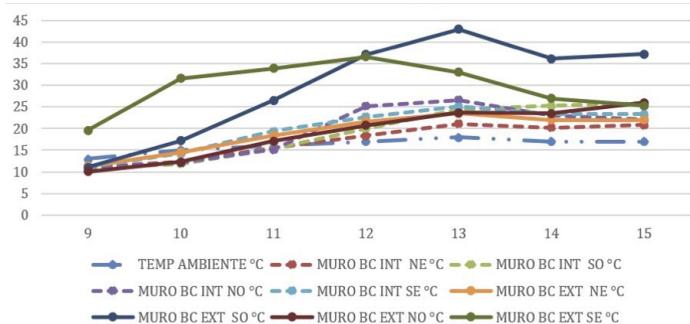


Gráfico 2: Comportamiento de temperaturas exteriores e interiores de muros del módulo de BC (enero 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

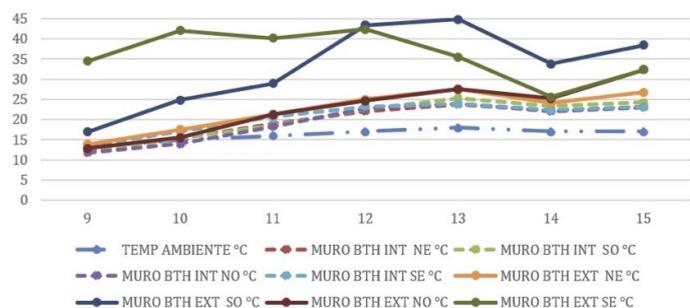


Gráfico 3: Comportamiento de temperaturas exteriores e interiores de muros del módulo de BTH (enero 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

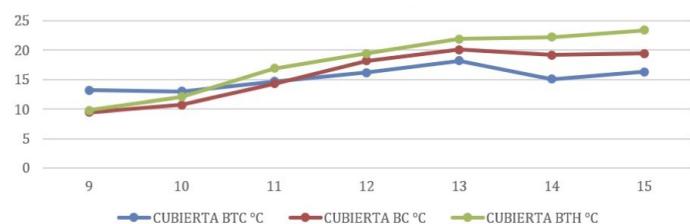


Gráfico 4: Comportamiento de las temperaturas de la superficie interior de la cubierta de los tres módulos (BTC, BC y BTH), enero 2019. Fuente: Elaboración de los autores.

las superficies expuestas. La temperatura máxima fue alcanzada por la cubierta con BTH y fue de 24°C; la más baja, se consiguió con la cubierta de BTC, y fue de 18°C. El BC y BTH inician con una misma temperatura al principio del registro.

ANSI/ASHRAE 55:2010		
ENERO		
80% ACEPTACION		
L. INF.	TN	L. SUP.
19.50	22.00	24.50

Figura 3. Límites de confort en enero. Fuente: Programa CONFORT ANSI ASHRAE.

Con base en el límite de confort correspondiente a enero, según Szokolay, 21.4° a 23.9°C, y el obtenido con el programa CONFORT ANSI ASHRAE, se dispusieron los límites en el diagrama para proceder a realizar análisis de los resultados obtenidos de las mediciones.

Aun cuando las envolventes de los tres módulos (Gráfico 5) tienen variaciones en las temperaturas de las superficies, el comportamiento resultante en los tres módulos fue similar con una temperatura ambiente, alcanzando el límite inferior (Figura 3). A partir de las 11 horas, capturan energía a través de la envolvente, aunque en el caso del BTH se obtuvo valores ligeramente más altos y en el de BTC se registró valores más bajos.

Los Gráficos 6 a 8 pertenecen a los datos de mayo 2019 (figura 4). La máxima temperatura de las superficies exteriores se da en la orientación SE, a las 11:00.

En el módulo de muro de block de tierra comprimida (Gráfico 6), la máxima temperatura de la superficie exterior se registró en la orientación SE a las 11:00 h, con 56°C y 25°C de diferencia respecto a la superficie interior; la temperatura de las superficies interiores aumentó de forma gradual a las 10:00 h, pero se mantuvo por debajo de la temperatura ambiente.

En el módulo de BC (Gráfico 7), la máxima temperatura de las superficies exteriores se da en la orientación SE a las 11:00 h, con 56°C y 20°C de diferencia respecto a la superficie interior; la temperatura interior de las superficies se incrementó a las 10:00 h, presentando una diferencia con la temperatura exterior de entre 1 y 8°C. A las 11:00 h, las superficies exteriores NO y SO aumentaron su temperatura de forma gradual, exhibiendo una diferencia de entre 8 y 10°C respecto a la temperatura exterior, con una oscilación de 5°C respecto a la superficie interior.

En el módulo de BTH (Gráfico 8), la máxima temperatura de las superficies exteriores se produce en la orientación SE a

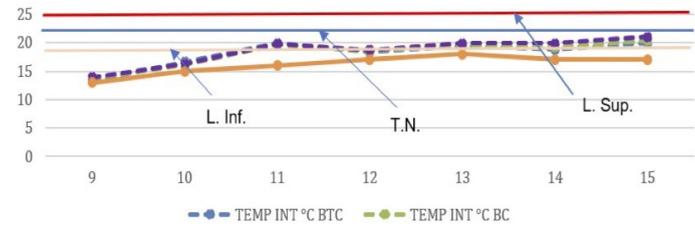


Gráfico 5. Comportamiento térmico interior de los tres módulos (enero 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

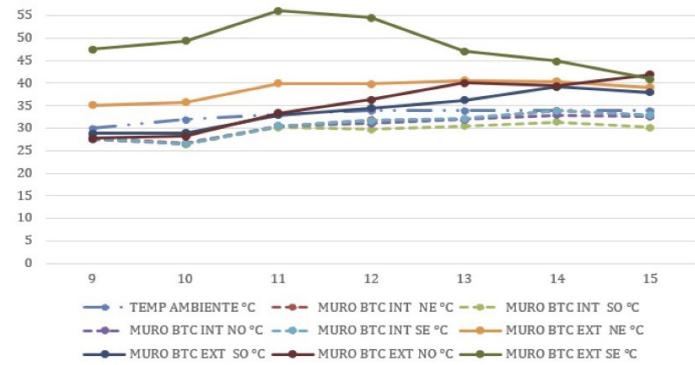


Gráfico 6. Comportamiento de temperaturas exteriores e interiores de muros del módulo de BTC (mayo 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

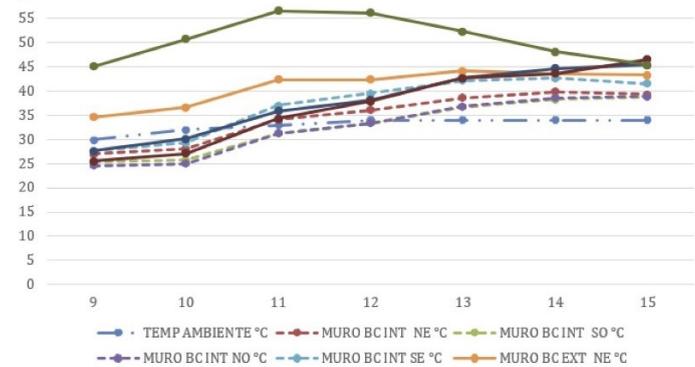


Gráfico 7. Comportamiento de temperaturas exteriores e interiores de muros del módulo de BTC (mayo 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

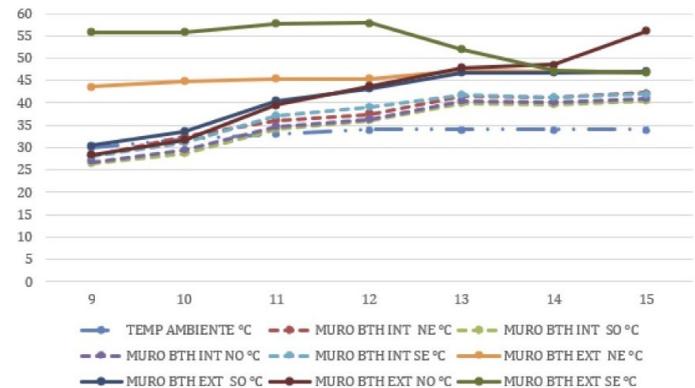


Gráfico 8. Comportamiento de temperaturas exteriores e interiores de muros del módulo de BTH (mayo 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

las 11:00 y 12:00 h, con 57°C y 18°C de diferencia respecto a la superficie interior. La temperatura interior de las superficies se incrementó a partir de las 10:00 h, registrando una diferencia 1 a 7°C respecto a la temperatura exterior. Se observó, asimismo, que las superficies exteriores NO y SO empezaron a aumentar a 10:00 h, manteniendo una diferencia de 5 a 20°C respecto a la temperatura exterior, con una oscilación de 5 °C con su respectiva superficie interior.

En el Gráfico 9, se aprecia que la temperatura máxima se presenta en la cubierta de BTH y es 43°C; y la más baja, en la de BTC, de 36°C. En este periodo las tres cubiertas inician con temperaturas similares a las 9:00 h, en tanto que a las 15:00 h mantienen una diferencia de 7° C entre el valor menor y el mayor

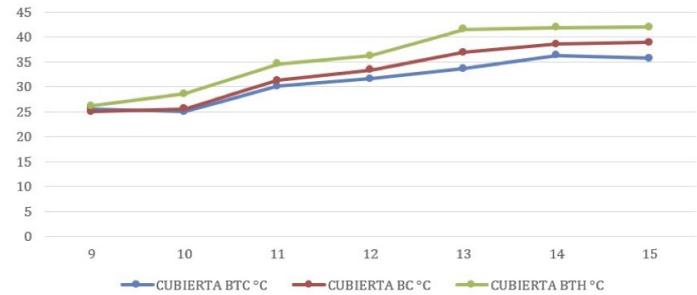


Gráfico 9. Comportamiento de las temperaturas de la superficie interior de la cubierta de los tres módulos (BTC, BC y BTH) (mayo 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

MAYO		
80% ACEPTACION		
L. INF.	TN	L. SUP.
22.70	25.20	27.70

Figura 4: Límites de confort en mayo. Fuente: Programa CONFORT ANSI ASHRAE.

Con base en el límite de confort correspondiente a mayo, según Szokolay, 22° a 27°C, y el obtenido con el programa CONFORT ANSI ASHRAE, se definieron los límites en el diagrama para proceder al análisis de los resultados obtenidos por las mediciones.

La temperatura interior resultante de los tres módulos (Gráfico 10) tiene un comportamiento térmico similar, aunque a las 12:00 h las temperaturas del BTH y BC son ligeramente más altas que la del BTC. Los tres se encuentran fuera del límite superior, manteniendo una temperatura inferior a la exterior en las primeras horas.

Según lo señalado por García et al. (2010), una envolvente activa sus mecanismos de regulación de acuerdo con las propiedades del material y su intercambio con el exterior. Un aspecto clave, como plantean Huelsz et al. (2014), Espinoza et al., (2017) y Muñoz et al. (2015) es la afectación generada por las aberturas que influyen en gran medida en la ganancia o pérdida de transferencia de calor al interior de la construcción. La hermeticidad, es la clave para reducir o aumentar la temperatura interior (Molina et al., 2020).

CONCLUSIÓN

Al comparar el comportamiento térmico en invierno de los tres módulos localizados en Saltillo, Coahuila, a partir de las orientaciones NE, ES, SO y NO de los muros, se

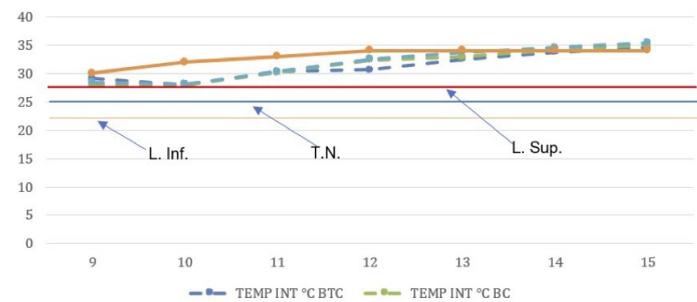


Gráfico 10. Comportamiento térmico interior de los tres módulos (mayo 2019). Fuente: Elaboración de los autores.

identifica que, en invierno, la suroeste mantiene los valores más altos en el transcurso de la mañana – tarde, debido a que recibe mayor cantidad de radiación solar a esa hora del día. Asimismo, dada la composición de los bloques y a partir de las distintas orientaciones, la sureste, en verano, tiene mayor energía transmitida en el transcurso de la mañana – tarde, entre las 11:00 y las 13:00 h, periodo en que las superficies captan la mayor cantidad de radiación. Esto constituye un área de oportunidad a considerar, puesto que en invierno se requiere aprovechar el calor y en verano se pretende tener menos captación, lo cual permitiría proponer alguna alternativa en el diseño en ambas orientaciones.

Comparando las temperaturas interiores ambientales del mes de enero de los tres módulos con los rangos de confort, a partir de Szokolay (2014) y del programa de Luna (2019), las lecturas inician con valores por debajo de los rangos de confort, aunque a las 15:00 se ubicaron dentro del rango de confort. Por otra parte, en mayo, los tres módulos estuvieron por arriba de los rangos de confort, lo cual significa que el mayor problema a trabajar surgiría en verano.

Respecto a la comparativa entre las superficies de los materiales experimentales (BTC y BTH) y el bloque de concreto comercial (BC), estos muestran diferencias relevantes en enero y mayo, por lo que es posible que el espesor del bloque experimental sea muy delgado

para contribuir en la mejora de las condiciones al interior. Aun así, es importante seguir trabajando en nuevas alternativas y mejoras del material para implementarlo en construcciones de viviendas de bajos recursos y mejorar el hábitat construido.

La envolvente con el BTC en ambas estaciones mantiene siempre temperaturas por debajo o similares a la temperatura ambiente, en cambio, los BC y BTH tienden a aumentar la temperatura de forma gradual a partir de las 10:00 y 11:00 h respecto a la temperatura exterior; no obstante, el resultado final fue similar a la temperatura interior en los tres materiales. Cabe señalar que el comportamiento de las superficies en sus caras interiores fue diverso, lo cual ofrece la opción de seguir trabajando en mejoras.

Estos resultados pueden estar asociados a la falta de protección en los vanos, al espesor de los bloques tanto en muros como en cubierta, o bien, a la falta de algún empastado exterior e interior que reduzca el incremento de la temperatura ambiental al interior de la construcción. Por lo que es pertinente seguir realizando pruebas con otras geometrías en los bloques experimentales, cerrar las aberturas y complementar con un pozo canadiense como sistema pasivo auxiliar que, de acuerdo con cálculos matemáticos de Molar, Ríos, Bojórquez y Reyes (2020), es viable, dadas las propiedades de la tierra en esta localidad, para ayudar a obtener un adecuado comportamiento térmico al interior del espacio. La contribución de esta investigación se orienta al mejoramiento del hábitat al interior de las viviendas del siglo XX y XXI, especialmente en aquellas construcciones tradicionales y vernáculas de la localidad aquí estudiada.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la UAdeC US por permitir desarrollar el proyecto *Estudio comparativo del comportamiento térmico del BTC, Block y módulo con tapa de huevo*, y la colaboración de alumnos para la construcción de los módulos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM (1995). Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components.

Calderón, F. (2019). Evaluación del mejoramiento del confort térmico con la incorporación de materiales sostenibles en viviendas en autoconstrucción en bosa, Bogotá, Colombia. *Revista Hábitat Sustentable*, 9(2), 30-41.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. *Portal de Geoinformación Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad 2020*. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/clima1mgw>

Costantini, A.B., Carro Pérez, M.E. y Francisca, F.M. (2016). Evaluación del comportamiento térmico de una edificación reemplazando el material de la envolvente por suelo cemento. *Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 05.43-05.53.

Delfín, C. A., Gallina, S. A. y López, C. A. (2014). El hábitat: definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. En S. A. Gallina y C. A. López (Eds.), *Manual de Técnicas para el estudio de la fauna* (pp. 283-317). Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/717/cap13.pdf>

Espinoza, G., Cordero, D., Ruíz, A. y Roux, R. S. (2017). Análisis de aislamiento en tres sistemas de muro como envolvente alternativo. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, (21), 119 – 133.

García, S., Kochova, L., Pugliese, G. y Sopoliga, P. (2010). *Uso de la energía en los edificios. Manual para estudiantes*. Proyecto IUSES y Programa de Energía Inteligente para Europa. Recuperado de <https://docplayer.es/16550130-Uso-de-la-energia-en-los-edificios-manual-para-estudiantes.html>

Herrera, L. C. (2017). Evaluación térmica del material isoblock en el clima cálido seco de cd. Juárez, México. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(2), 18-27.

Huelsz, G., Molar, M. E. y Velázquez, J. (2014). Transferencia de calor en la envolvente arquitectónica y en el ser humano. En M. E. Molar, J. Velázquez y J. López, *Vivienda 2* (pp. 7-22). Saltillo: Universidad Autónoma de Coahuila.

Luna L. A. (2019). CONFORT ANSI ASHRAE. Herramienta diseñada en Excel para estimar límite de confort. Mexicali: UABC.

Molar, M. E. y Huelsz, G. (2017). Comparación del comportamiento térmico de muros de concreto armado y de bloques de concreto huecos. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1(22), 1-12.

Molar, M. E., Velázquez, J. y Gómez, A. B. (2018). Estudio del comportamiento térmico de las viviendas respecto a su orientación. *México: Revista de Arquitectura y Diseño*, 2(3), 1-7.
 Molar, M. E., Ríos, J., Bojórquez, G. y Reyes, J. A. (2020). Determinación de profundidad óptima para intercambiadores de calor tierra-aire en Saltillo, Coahuila. *Research Journal Aplicaciones de la Ingeniería*, 1(1), 1-15.

Molina, J. O., Lefebvre, G., Horn, M. y Gómez, M. M. (2020). *Diseño de un módulo experimental bioclimático obtenido a partir del análisis de simulaciones térmicas para el centro poblado de Imata (4519 m s.n.m.) ubicado en Arequipa, Perú*. *Inf. tecnol.*, 31(2) 173-186. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200173>.

Morris, G. D. (2017). *Building Heat Transfer*. Estados Unidos de América: Wiley.

Múnera, M. C. (2011). *Construcción social del hábitat: Más allá de una política de producción de vivienda*. Recuperado de <http://construccionsocialdelhabitat.files.wordpress.com/2011/04/construccic3b3n-social-del-hc3a1bitat.pdf>.

Muñoz Vásquez, M., Marino, B. M. y Thomas, L. P. (2015). Caracterización del comportamiento térmico de un edificio prototipo en Tandil (Buenos Aires). *Revista ANALES AFA*, 26(2), 1-10. Recuperado de <https://afan.df.uba.ar/journal/index.php/analesafa/article/view/2038>

Organización Panamericana de Salud (OPS). (octubre de 1999). *Documento de Posición (OPS) sobre Políticas de Salud en la Vivienda. Organización Mundial de la Salud Organización Panamericana de la Salud*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsasv/e/iniciativa/posicion/posicion.html>

Rodríguez, N. A., Nájera, M. y Martín, I. R. (2018). Análisis del desempeño térmico de los sistemas constructivos de un edificio de oficinas mediante simulaciones dinámicas. *Revista Ingeniería Investigación y tecnología*, XIX(3), 279-289. <http://dx.doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2018.19n3.024>

Roux, R. S. (2018). Bahareque y su inercia térmica para muros de vivienda. *Revista LEGADO de Arquitectura y Diseño*, (23), 25-32.

SENER y CONUEE (2011). *Guía rápida para el cálculo de la NOM 020*. Recuperado de https://energypedia.info/images/6/6d/GIZ_Gu%C3%ADa_r%C3%A1pida_NOM-020-ENER-2011.pdf

Szokolay, S. (2014). *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*. Third edition. London: Architectural Press.

Velázquez, J. y Molar, M. E. (2016). Material alternativo con tapas de huevo para cubierta. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*, 2(4), 35-42.





Recibido 08/02/2020
Aceptado 15/07/2020

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM EN UNA EXPERIENCIA ÁULICA ORIENTADA A LA SUSTENTABILIDAD EDILICIA

PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF THE BIM METHODOLOGY IN AN CLASSROOM EXPERIENCE FOCUSED ON BUILDING SUSTAINABILITY

Analia Alejandra Alvarez
Doctora en Arquitectura y Urbanismo
Jefe de trabajos prácticos Instituto de Estudios en Arquitectura
Ambiental - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño -
Becaria Posdoctoral CONICET
Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-0069-8173>
ana_alv023@hotmail.com

María Verónica Ripoll-Meyer
Arquitecta
Jefe de trabajos prácticos Instituto de Estudios en Arquitectura
Ambiental - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño -
Becaria Posdoctoral CONICET
Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1757-2526>
veronicaripoll@yahoo.com

RESUMEN

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativo que concentra toda la información de un proyecto en un único prototipo virtual susceptible de ser estudiado a lo largo de su ciclo de vida. Una de las principales dificultades para su implementación es la escasa formación de profesionales en su uso y alcance. Por ello, esta investigación surge con el objetivo de proponer una mecánica de trabajo en tiempo real que, a partir del uso de la metodología BIM desde instancias iniciales del proceso de diseño, constituya un sistema de apoyo a la toma de decisiones en relación con la sustentabilidad edilicia. Con tales fines, se establecen lineamientos básicos para el desarrollo de una experiencia áulica piloto que integre el uso de la metodología BIM, a partir de la realización del *Building Energy Model* (BEM) de tres prototipos de vivienda social de uso generalizado en San Juan, Argentina. Como resultado, se obtiene el *BIM Execution Plan* (BEP) para la primera implementación de la metodología BIM en el Taller Vertical de Arquitectura Ambiental (TVAA) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

Palabras clave

BIM, mecánica de trabajo, experiencia áulica, BEM, BEP

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM), is a collaborative methodology that gathers all the information of a project in a single virtual prototype, which can then be studied throughout its life cycle. One of the main difficulties in its use is the limited training of professionals in its use and scope. Consequently, this research proposes a real-time work procedure where, by using the BIM methodology in the initial stages of the design process, this constitutes a support system for decision-making with respect to Building Sustainability. With this in mind, basic guidelines are set out to develop a pilot classroom experience that integrates the use of the BIM methodology, by making a *Building Energy Model* (BEM) of three commonly used social housing prototypes in San Juan, Argentina. The result is the *BIM Execution Plan* (BEP) for the first use of the BIM methodology in the Vertical Workshop on Environmental Architecture (TVAA) of the Faculty of Architecture, Urbanism and Design (FAUD) of the National University of San Juan (UNSJ).

Keywords

BIM, work procedure, classroom experience, BEM, BEP.

INTRODUCCIÓN

El *Building Information Modeling* o Modelado de Información para la Construcción, BIM por sus siglas en inglés, es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar colaborativa e interdisciplinariamente una edificación o infraestructura, a lo largo de su ciclo de vida, en un espacio virtual (PlanBIM, 2019). Salinas y Prado (2019) sostienen que los referentes a nivel mundial en el desarrollo de estándares y normativas BIM son Estados Unidos, Reino Unido y Singapur. En América del Sur, Brasil y Chile son los más avanzados en la implementación BIM desde el sector público. En Argentina, el estándar BIM surgió desde el sector privado, pero con la participación del sector público. El resto de la región, presenta iniciativas individuales, sin concretar documentos que reflejen un trabajo colaborativo (Salinas y Prado, 2019).

Una de las principales dificultades detectadas en relación con la expansión BIM es la falta de profesionales capacitados. Para contrarrestar esta problemática, el rol de las universidades es fundamental (Orrego, 2017). En relación con el estado del arte, se observa que Piña, Varela, Aguilera y Vidales (2017) proponen revisar los planes de estudio para incorporar más competencias relativas a la metodología BIM. Para ello, definen un organigrama que establece el rol de los agentes BIM, en las distintas fases del proyecto (Diseño, Construcción y Explotación), el grado de implicación y nivel de conocimientos requeridos, a efectos de que los alumnos de Ingeniería de la Edificación conozcan de antemano las relaciones existentes entre dichos actores.

Así también, Meana, Bello y García (2017) y Reyes, Prieto, Cortés y Candelario (2017) analizan el uso de la metodología BIM en carreras de Ingeniería Industrial. Meana et al. (2017) plantean la necesidad de adaptar el modelo formativo actual a las necesidades de los profesionales de modelos colaborativos. En ese sentido, postula establecer una comisión interuniversitaria que dirija y unifique los objetivos y competencias en relación con dicha metodología. Reyes et al. (2017), por su parte, concluyen que la tecnología BIM puede utilizarse en docencia universitaria con altas probabilidades de éxito.

Si bien existe un amplio número de investigaciones relativas al uso de la metodología BIM en distintos campos de la industria de la construcción, no se ha abordado su implementación en prácticas pedagógicas orientadas a la sustentabilidad en la edificación desde instancias tempranas del proceso de diseño. En esta dirección, los autores mencionados no exponen el uso

de documentos tales como el *BIM Execution Plan* (BEP), o bien, la elaboración de un *Building Energy Model* (BEM). Asimismo, el desarrollo de estándares relativos a la metodología BIM se corresponde con su aplicación en el sector público. Sin embargo, no hay estándares que orienten la forma en que dicha metodología debe ser implementada en el ámbito académico.

González Pérez (2015) señala que el estándar BIM es un marco común que se debe realizar en la fase previa a iniciar el proyecto e influye en el correcto funcionamiento del trabajo colaborativo. En PlanBIM (2019) se indica que un estándar es un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que se entrega para ayudar a obtener un grado óptimo de ordenamiento en un contexto dado.

Por otro lado, Chong y Wang (2016), Sakin y Kiroglu (2017) y Chaves, Tzortzopoulos, Formoso y Shigaki (2015) coinciden en que BIM constituye una base confiable para tomar decisiones conducentes a la incorporación de enfoques sostenibles y al mejoramiento del rendimiento edilicio al permitir monitorear un proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Mercader Moyano Camporeale y Cózar-Cózar (2019) destacan que la consideración de los problemas ambientales durante la etapa de diseño representa uno de los mayores desafíos para los diseñadores.

Sobre dicha base, el presente artículo surge con el objetivo de proponer una mecánica de trabajo en tiempo real que, a partir del uso de la metodología BIM desde instancias iniciales del proceso de diseño, constituya un sistema de apoyo a la toma de decisiones en relación con la sustentabilidad edilicia. Desde esa perspectiva, inicialmente se definen lineamientos básicos para la realización de un BEM orientado al análisis del nivel de confort de la vivienda social. Para ello, se toman como punto de partida las características térmicas de los materiales que integran las soluciones constructivas adoptadas en tres prototipos de vivienda de interés social de aplicación generalizada en la ciudad de San Juan¹, Argentina. De igual modo, se sientan las bases para la diagramación de un *BIM Execution Plan* (BEP) dirigido a la primera implementación de la metodología BIM en una experiencia áulica que tendrá lugar en agosto de 2020, en el Taller Vertical de Arquitectura Ambiental (TVAA) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), con lo cual se aporta al desarrollo de futuros estándares BIM en educación. En suma, se pretende contribuir a la sustentabilidad del hábitat concientizando a los futuros profesionales respecto de la importancia que las decisiones de proyecto tienen a lo largo del ciclo de vida del edificio. Al respecto, precisar la mecánica de trabajo

1 Ciudad ubicada en el centro-oeste de Argentina, en la Diagonal Árida Sudamericana.

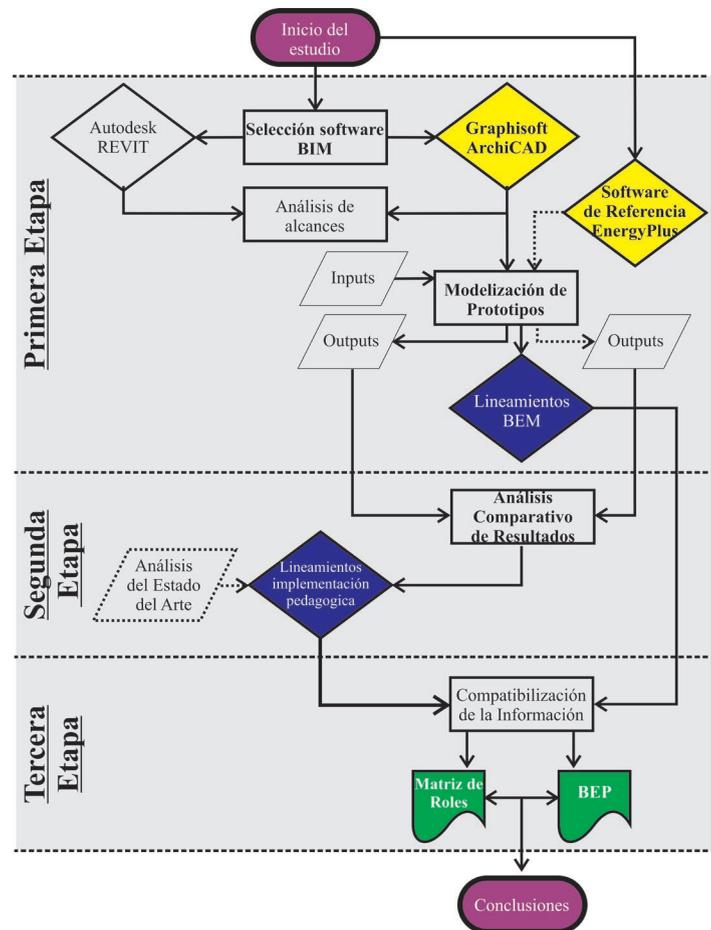
necesaria para pasar del BIM al BEM permite redefinir y mejorar, en la etapa previa a la ejecución de la obra, aquellos aspectos tecnológicos, constructivos y de diseño que aporten a una mayor sustentabilidad en la edificación.

METODOLOGÍA

Este artículo propone un conjunto de documentos capaces de estructurar una futura práctica pedagógica que, con base en la metodología BIM, favorezca la integración de variables de sustentabilidad edilicia en el proceso de diseño de los alumnos de Arquitectura. A partir de ello, podrán definirse las directrices básicas para la elaboración de un Estándar orientado a la implementación de la metodología BIM en la enseñanza de la Arquitectura en general y de la sustentabilidad edilicia en particular.

Desde este enfoque, la metodología propuesta se sustenta en dos etapas sucesivas. En la primera de ellas se definen los lineamientos básicos para el desarrollo del BEM, luego de analizar el nivel de confort de tres prototipos de vivienda de interés social de aplicación generalizada en la ciudad de San Juan, Argentina. Aquí, es importante considerar que, si bien EnergyPlus constituye un referente del análisis realizado, otros softwares para el modelado de información edilicia, tales como Revit y ArchiCAD, tienen mayor facilidad de uso, lo cual potencia su aplicación para la valoración en etapas tempranas de diseño. El desarrollo de esta etapa incluye la determinación de la mecánica de trabajo necesaria para pasar del BIM al BEM, así como también se mencionan generalidades relativas al Manual Básico de Entrega de Información (MEI) y se determina la importancia de las Solicitudes de Información BIM (SDI BIM). Adicionalmente, se analiza el contenido de los informes obtenidos de la evaluación, es decir, las variables de salida posibles en relación con los datos ingresados en el BEM. De esta instancia surgen las similitudes y divergencias asociadas al uso de cada software. Esto resulta de interés a fin de que el docente pueda orientar al alumno en la correcta interpretación de los resultados y, en consecuencia, en la determinación de estrategias de diseño bioclimático que aporten a mejorar el nivel de confort obtenidos en la simulación. Los contenidos de cada informe de evaluación se analizan conforme a seis variables (transparencia, trazabilidad, procesamiento, comparabilidad, complejidad y variables de salida posibles).

En la segunda etapa, se establecen lineamientos generales para la implementación áulica de la metodología BIM. Con tal objetivo, se propone un *workflow* destinado a la incorporación de variables de sustentabilidad en instancias iniciales del proceso de diseño. Por último, se construye una matriz de roles y el PEB de Oferta que direcciona el desarrollo de la práctica pedagógica. La Figura 1 sintetiza la metodología de investigación propuesta.



Fuente: Elaboración de las autoras.
 Figura 1. Flowsheet de la metodología de investigación propuesta.

ETAPA 1: LINEAMIENTOS PARA EL BEM

Tanto para Lu, Wub, Changa y Lib (2017) como para Martín, Franco, Broock, González y Assef (2014), los métodos tradicionales de diseño son limitados en términos de análisis de sustentabilidad como resultado de la fragmentación de la información manejada por los mismos. Por ello, incluir la evaluación de energía en el flujo de trabajo del diseño arquitectónico facilita la creación de proyectos que cumplan e, incluso, superen las normativas de eficiencia energética (Soltani, 2016). No obstante, generar un modelo paramétrico requiere habilidades de manejo de software que van más allá de la representación tridimensional e implica conocer la forma en que deben asignarse los parámetros para construir un modelo BIM funcional y útil (Mojica, Valencia, Gómez y Alvarado, 2016).

El término BEM se refiere a una herramienta de simulación para el cálculo de la carga térmica y la utilización de energía en edificios que permite predecir su uso con base en la arquitectura y los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado (Jiménez, Sarmiento, Gómez y Leal, 2017). Por tanto, para realizar una evaluación energética correcta, el modelo 3D del edificio tiene que contener al menos las estructuras envolventes y la carpintería, así como

todas las estructuras internas principales que representen un volumen de almacenamiento de calor significativo (Graphisoft, 2017).

De acuerdo con Llave Zarzuela, Arco Díaz e Hidalgo García (2019), a nivel mundial, Revit y ArchiCAD son las herramientas de modelado de información edilicia que incluyen evaluación energética más usadas por los profesionales de la construcción. Indican, igualmente, que la herramienta de evaluación energética integrada de Revit es *insight 360* y la de ArchiCAD es *Ecodesigner*. Además, mencionan que *insight 360* es un motor analítico que no está suficientemente testado, no obstante, se puede utilizar la herramienta *Green Building Studio*. Por último, destacan que *Ecodesigner* es considerado uno de los softwares de simulación energética más exactos, ya que presenta un rango de error menor al 5% en las evaluaciones de rendimiento energético (Llave Zarzuela et al., 2019). Blat Tatay (2016), en tanto, caracteriza los softwares mencionados a partir de sus principales cualidades y concluye que Revit y ArchiCAD son herramientas potentes y equivalentes que han alcanzado la madurez suficiente para ser representativos del momento que vive la metodología BIM.

En consideración con los objetivos propuestos para esta investigación, es necesario destacar la importancia del uso de herramientas que permitan la valoración de la sustentabilidad edilicia desde instancias iniciales del proceso de diseño. En esa línea, resulta relevante que los softwares a utilizar en el desarrollo de la experiencia áulica sean fáciles de usar por parte de los alumnos. Sobre dicha base, y con miras a la determinación de los lineamientos básicos para el desarrollo del BEM, se propone utilizar los softwares Revit, ArchiCAD y EnergyPlus a fin de obtener sus similitudes, divergencias y alcances, tanto a nivel de uso/interfaz como de variables de salida.

Para la realización de los modelos se utilizó ArchiCAD, versión 21 (demo), Revit 18 (demo) y EnergyPlus 8.4.0. Los prototipos modelizados son el A-13, B-13 y A-12 (Figuras 2, 3 y 4). La información gráfica fue provista por el Instituto Provincial de la Vivienda de San Juan (IPV-San Juan). En todos los casos, los prototipos se consideran ubicados en un lote con orientación norte-sur con acceso principal por la cara sur del mismo. Esto último constituye una simplificación que permite contemplar los resultados conforme a las mismas condiciones de ubicación. La Tabla 1 sintetiza las características térmicas de los materiales usados para la construcción de las viviendas.

ETAPA 2: LINEAMIENTOS PARA PRÁCTICA PEDAGÓGICA

Blasco Gutiérrez, Parant, Olivier, González Redondo y García (2017) manifiestan que la metodología BIM constituye una evolución del trabajo colaborativo en todas las partes de un proyecto y, por ende, la enseñanza universitaria se debe adaptar al actual perfil digital del alumno a partir de

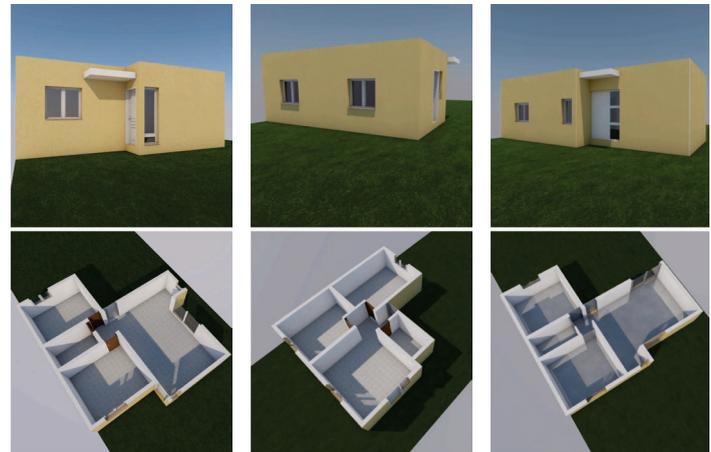


Figura 2. Prototipo A-12.
 Figura 3. Prototipo A-13.
 Figura 4. Prototipo B-13.
 Fuente: Elaboración de las autoras con base en datos del IPV-San Juan.

Elemento	Capas del elemento constructivo	R	K (W/m ² K)	
		(m ² K/W)	Invierno	Verano
Muros Exteriores	Mortero	0.01	2.374	2.374
	Ladrillón	0.22		
	Mortero	0.02		
1 Muros Interiores	Mortero	0.02	2.36	2.36
	Ladrillón	0.22		
	Mortero	0.02		
2 Muros Interiores	Mortero	0.02	3.46	3.46
	Ladrillón	0.09		
	Mortero	0.02		
Techo	Membrana Asfáltica	0.01	0.647	0.619
	Carpeta de Nivelación	0.04		
	Pomeca (Piedra pómez natural)	1.25		
	Losa Hormigón Armado	0.09		
	Cielorraso a la Cal	0.02		
Piso	Contrapiso	0.1	3.29	2.67
	Carpeta	0.03		
	Cerámico	0.03		
Puertas Exteriores	MDF 18mm	Se adopta: 3.50		
	Aire			
	MDF 18mm			
Puertas Interiores	MDF 5mm	Se adopta: 3.50		
	Aire			
	MDF 5mm			
Ventanas	Vidrio Incoloro 3mm	Se adopta: 5.82		

Tabla 1. Características Térmicas (Resistencia y Transmitancia) de los Materiales empleados en las viviendas analizadas.
 Fuente: Elaboración de las autoras.

Referencias: Niveles de confort en W/m²K de la IRAM 11605 (Zona Bioambiental III)
 Condición de verano: ■ A (Muros: 0.50 Techo: 0.19) ■ B (Muros: 1.25 Techo: 0.48) ■ C (Muros: 2.00 Techo: 0.76) ■ No verifica
 Condición de Invierno: ■ A (Muros: 0.286 Techo: 0.246) ■ B (Muros: 0.758 Techo: 0.642) ■ C (Muros: 1.31 Techo: 1.00) ■ No verifica

ayudar a los mismos a distinguir los diferentes roles de su profesión, desde el inicio. En otras palabras, la educación BIM debe centrarse en mejorar el flujo de comunicación y la secuencia de trabajo (Latorre, Sanz y Sánchez, 2019). Para Granero y García Alvarado (2014), la enseñanza de la arquitectura contempla una dedicación fundamental a los talleres de diseño. Por consiguiente, la implementación BIM encuentra en dichos espacios curriculares las condiciones propicias para su desarrollo.

En este marco, para Piña et al. (2017), llevar a cabo una práctica pedagógica con base en la metodología BIM requiere identificar las distintas fases del proyecto BIM de manera sencilla. Dichas instancias se pueden sintetizar en: Diseño, Construcción y Explotación. Reyes et al. (2017) implementan un Dispositivo Experimental que, a partir del trabajo grupal, la determinación de roles, condicionantes y normativas a cumplir, permite a los alumnos desarrollar competencias que facilitan su integración en el mundo laboral.

Asimismo, la Cámara Argentina de la Construcción (CAMARCO, 2020) señala que la implementación BIM requiere planificar cómo se realizará la transición en la forma de trabajo, así como también elegir y desarrollar un proyecto piloto. Conjuntamente, se destaca que dicho proyecto debe ser de pequeña escala, complejidad media y responder a una tipología constructiva que el equipo de trabajo domine.

En concreto, el BEP es el documento en el que convergen las estrategias, procesos, recursos, técnicas, herramientas, sistemas, etc., que se deben aplicar para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados por el cliente en un proyecto determinado, conforme a las fases del ciclo de vida vinculadas al mismo (ESBIM, 2018). De acuerdo con PlanBIM (2019), deben desarrollarse dos BEP: uno de Oferta (Licitación) y otro Definitivo (Proveedor Adjudicado). La diferencia entre ambos radica en el nivel de detalle de la información contenida en cada uno. El BEP de Oferta contiene información básica del proyecto, objetivos y usos del BIM, infraestructura tecnológica y competencias del equipo, entregables generales y estrategia general de colaboración. Además de una mayor especificidad en dicha información, el BEP Definitivo incluye los estándares y convenciones a utilizar.

En cuanto a la determinación de los roles de los distintos agentes que participan, Piña et al. (2017) identifican los siguientes agentes intervinientes en los proyectos BIM:

- BIM Manager: responsable de gestionar el equipo y de desarrollar y aplicar el BEP.
- BIM Coordinator: parte ejecutiva del BIM Manager, también responsable de desarrollar, aplicar y gestionar el BEP de un proyecto.
- BIM Modelator: encargado de realizar el modelado del proyecto.

- BIM Operator: encargado de la gestión de los entregables y del intercambio de archivos.
- BIM Analyst: encargado de efectuar simulaciones y análisis de los modelos BIM.
- Content Manager: lleva a cabo tareas de gestión de la información que contiene el modelo.
- Facility Manager: realiza la gestión del edificio en fase de explotación y mantenimiento en un entorno BIM.

De esta manera, una matriz de roles acorde a las características de una implementación áulica de la metodología BIM debe compatibilizar los roles definidos por los estándares BIM con las funciones, características y capacidades de docentes y los alumnos en particular. Cabe agregar que, como resultado de sus características principales, es factible desarrollar un BEP de Oferta que permita estructurar la práctica pedagógica; en tanto el BEP Definitivo surgirá en relación con la presentación final del proyecto pudiendo contener indicadores que faciliten la evaluación del mismo en función del porcentaje de cumplimiento de los objetivos propuestos.

Conforme a lo antedicho, se propone realizar, en agosto de 2020, una experiencia áulica de implementación BIM en la cátedra Taller Vertical de Arquitectura Ambiental de la FAUD-UNSJ que, con base en lo expuesto por la CAMARCO (2020), consistirá en el desarrollo de una vivienda de interés social (tipología conocida por los alumnos, de pequeña escala y complejidad media). Dado que el análisis se orienta a la sustentabilidad edilicia, se considera pertinente que los alumnos que integren el equipo de trabajo del proyecto piloto posean conocimientos previos en la temática. Por esta razón, resulta oportuno que la experiencia se realice con alumnos avanzados. Adicionalmente, para la selección del equipo de trabajo se plantea la ejecución de una encuesta previa orientada a determinar el nivel de conocimientos en relación con la metodología BIM y la sustentabilidad edilicia de los alumnos del taller.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera etapa de desarrollo de la investigación consiste en la realización de los modelos BEM correspondientes a los casos de estudios seleccionados. Los distintos prototipos fueron elaborados conforme a las soluciones constructivas de uso generalizado en las viviendas del IPV-San Juan que, como se observa en la Tabla 1, no verifican al nivel C (mínimo) establecido para la Zona Bioambiental a la que pertenece San Juan (Illa), de acuerdo con la norma IRAM 11605. Por tanto, desde una perspectiva centrada en el confort higrotérmico, dichas soluciones constructivas deben ser revisadas a efectos de dar respuesta a la normativa vigente en Argentina, en general, y a la sustentabilidad edilicia, en particular.

Sin embargo, la importancia de realizar dichos modelos en Revit, ArchiCAD y EnergyPlus, reside en que de esa tarea se desprenden los lineamientos básicos que permiten el paso del modelo BIM al BEM, así como también los alcances

asociados a cada software.

En tal sentido, de acuerdo con PlanBIM (2019), el Manual Básico de Entrega de Información (MEI) o *Information Delivery Manual* (IDM) constituye una guía para la elaboración de los modelos BIM. Es decir, estructura la información para garantizar entregables BIM de calidad y asegurar la disponibilidad y posible reutilización de la información. En esta dirección, el desarrollo del MEI implica:

- Mismo lenguaje, a fin de eliminar tareas ineficientes.
- OpenBIM IFC.
- Misma estructura. Se relaciona con la sistematización y codificación de la información (denominación coherente y uniforme de los archivos, posición coordinada, coincidencia de los nombres correspondientes a los niveles del modelo BIM, así como también el uso correcto de entidades).
- Disponibilidad de la información para usos futuros, como resultado del adecuado uso de las propiedades y conjunto de propiedades definidas en IFC.

Hay que subrayar que la importancia del uso del MEI se encuentra en las posibilidades de mejorar la interoperabilidad, de aumentar la eficacia en el desarrollo de las tareas, de facilitar la sistematización de la información y, por ende, la disponibilidad de la misma para futuros usos.

Por otro lado, las Tablas 2 y 3 exponen las diferencias y similitudes detectadas en los informes de evaluación obtenidos con cada uno de los softwares utilizados en la investigación. Al respecto, se destaca que, en la Tabla 2, se cualifica el contenido de dichos informes conforme a una escala de *alta*, *media* y *baja*, según sea la transparencia y trazabilidad de los resultados obtenidos en los mismos y la posibilidad de realizar análisis relacionales posteriores. Con base en los objetivos de esta investigación, también se analiza la complejidad en la interpretación de los resultados y la posibilidad de establecer edificios de referencia que favorezcan la valoración de condiciones de sustentabilidad que, a su vez, sirvan de base para la determinación de indicadores de cumplimiento relativos a la práctica pedagógica. Finalmente, se toma en consideración las variables de salida posibles en cada software. La Tabla 3 muestra, además, un listado de los contenidos observados en los informes de evaluación obtenidos.

Del examen de las Tablas 2 y 3, se obtiene que ArchiCAD pone énfasis en la transparencia de los datos, al referenciar al origen de los mismos. De igual forma, los softwares estudiados presentan la posibilidad de hacer análisis comparativos de diferentes opciones constructivas o de diseño. Revit acentúa los aspectos económicos, el uso de energía fotovoltaica y el análisis por orientaciones. Sobre dicha base, se infiere que ese software pone en valor variables de diseño bioclimático. Por otro lado, EnergyPlus y ArchiCAD exponen los resultados de distintas variables sin establecer jerarquías, a partir de lo cual se deja a criterio del investigador el uso y establecimientos de prioridades de los datos. Revit presenta, por lo demás, un análisis fuertemente orientado a los costos energéticos,

Variable de Análisis	Software		
	ArchiCAD (Ecodesigner)	Revit (Insight 360)	EnergyPlus
Transparencia	■	■	■
Trazabilidad	■	■	■
Posibilidad de procesamiento posterior de datos	■	■	■
Complejidad en la interpretación de los resultados	■	■	■
Comparabilidad (Posibilidad de establecer edificio de referencia)	■	■	■
Cantidad y Pertinencia de variables de análisis para la simulación energética	■	■	■

Tabla 2. Análisis del contenido de los informes de evaluación (características generales).

Fuente: Elaboración de las autoras con base en las simulaciones realizadas en Revit, ArchiCAD y EnergyPlus.

Referencias: ■ Alta ■ Media ■ Baja

Análisis de Resultados	Software		
	ArchiCAD (Ecodesigner)	Revit (Insight 360)	Energy Plus
Resumen Datos de Proyecto	●		
Resultados por zonas	●		●
Balance energético del proyecto	●	●	●
Temperatura	●		●
Rendimiento HVAC	●	●	●
Consumo de Energía	●	●	●
Consumo de Energía por fuentes	●		●
Impacto Ambiental	●		●
Certificaciones energéticas	●	●	●
Rendimiento Base	●	●	●
Coste de energía base	●	●	●
Clasificación del rendimiento	●		●
Consumo y ahorros de energía	●		●
Infiltraciones	●	●	●
Uso de energías renovables	●	●	●
Iluminación	●	●	●
Informes de alerta	●		●

Tabla 3. Análisis del contenido de los informes de la evaluación (características específicas).

Fuente: Elaboración de las autoras con base en las simulaciones realizadas en Revit, ArchiCAD y EnergyPlus.

mientras ArchiCAD muestra una evaluación análoga a la de EnergyPlus. Asimismo, de acuerdo con la bibliografía consultada, Revit no aborda el análisis de puentes térmicos. Según lo anterior, la Tabla 4 sintetiza los lineamientos generales que permiten pasar del modelo BIM al BEM.

Instancias de Modelización	Ítem	ArchiCAD (Ecodesigner)	Revit (insight 360)	EnergyPlus	Observaciones
1	Modelado 3D integrado	●	●	—	EnergyPlus utiliza SketchUp y OpenStudio.
2	Determinación de zonas térmicas	●	—	●	
3	Definición de los materiales	●	●	●	ArchiCAD y Revit poseen motores de cálculo integrados que toman los datos del modelo. EnergyPlus utiliza IDFEditor.
	Determinación de paquetes constructivos	●	●	●	
	Configuración de bloques térmicos / Sistemas de Climatización	●	●	●	
4	Perfiles de uso personalizados	●	—	●	Revit posee perfiles de uso por defecto.
5	Selección de archivo climático	●	—	●	ArchiCAD y EnergyPlus admiten archivos climáticos: (*.epw). Revit obtiene los datos de la estación meteorológica más cercana.
	Variables de salida	●	●	●	En EnergyPlus, los “fatal errors” requieren la revisión del modelo. En Revit, se debe iniciar sesión en Autodesk y estar en la ventana 3D. ArchiCAD, solicita la corrección de inconsistencias antes de simular.
	Resultados para posterior procesamiento	●	—	●	EnergyPlus y ArchiCAD, poseen variables de salida compatibles. Revit realiza un análisis ligado a la eficiencia energética y el uso de energías renovables.
6	Informe de Resultados	●	●	—	ArchiCAD y EnergyPlus permiten el procesamiento posterior de los datos. Revit, no facilita el análisis posterior de los resultados.

Tabla 4. Similitudes y diferencias detectadas en las distintas instancias de modelización, de los softwares analizados.
 Fuente: Elaboración de las autoras con base en las simulaciones realizadas en Revit, ArchiCAD y EnergyPlus.

Del análisis de la Tabla 4, se desprenden los lineamientos guías para el desarrollo del BEM, así como las particularidades inherentes al proceso de realización del mismo, según las características del software seleccionado para la tarea. En este contexto, resulta relevante establecer claramente el objetivo para el cual se elabora el modelo. Así, si la valoración de la sustentabilidad edilicia surge en la etapa de diseño o, como en el caso de esta investigación, para constituir un sistema de apoyo a la toma de decisión desde instancias iniciales del proceso de proyectación, resulta

conveniente el uso de Revit o ArchiCAD sobre la base de su fácil aplicación y la rapidez con la que se obtienen los resultados. Ahora bien, si el proyecto requiere un análisis profundo del comportamiento energético del edificio, se sugiere el uso de softwares especializados, como es el caso de EnergyPlus.

En relación con los resultados alcanzados en la segunda etapa, se destaca que, para Mercader Moyano et al. (2019), la sustentabilidad ambiental, social y económica tiene la etapa

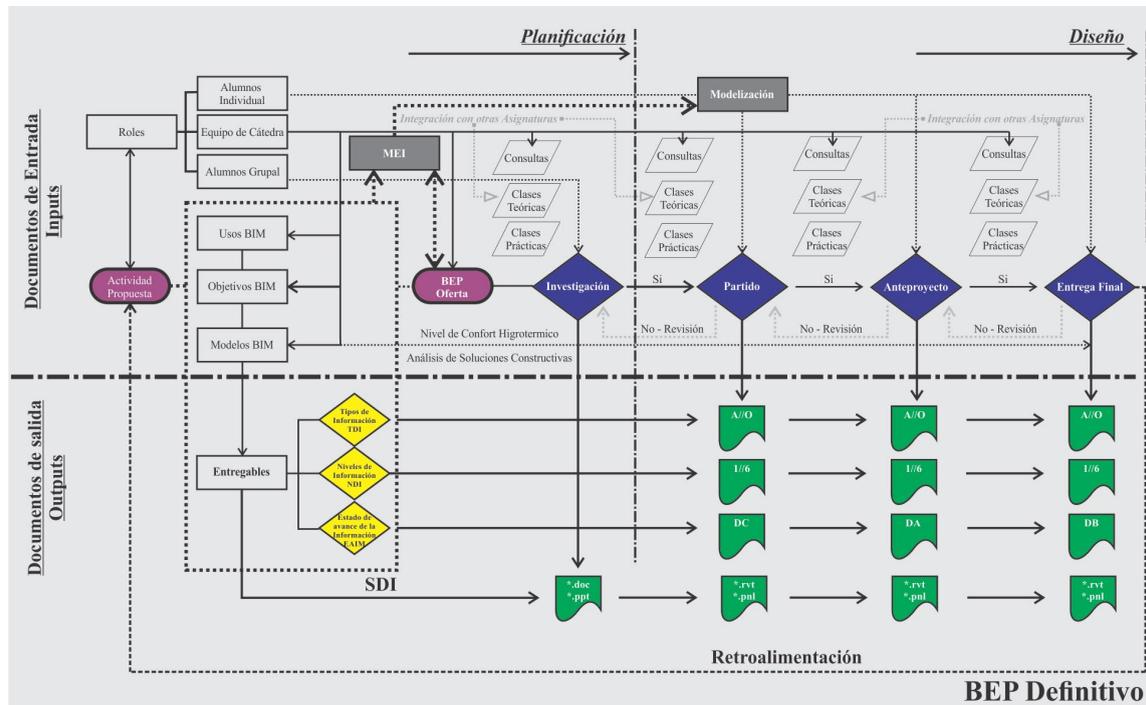


Figura 5. Workflow Experiencia áulica con base en la metodología BIM.
 Fuente: Elaboración de las autoras.

Fases del Ciclo de Vida	Rol	Etapas del Proyecto				Función					
		Planificación	Desarrollo	Construcción	Operación	Dirigir	Revisar/Evaluar	Modelar	Coordinar	Gestionar	
Diseño	BIM Manager	Jefe de Cátedra	●				●	●		●	●
	BIM Coordinator	Equipo de Cátedra	●				●	●		●	●
	BIM Modelator			●	●	●			●	●	●
	BIM Operator			●	●	●			●	●	●
	BIM Analyst			●	●	●			●	●	●
	Content Manager			●	●	●			●	●	●
	BIM Information Manager	Alumno		●	●	●			●	●	●
Construcción	Construction BIM Manager			●	●	●			●	●	●
Explotación				●	●	●			●	●	●
Fin de Vida	Facility Manager			●	●	●			●	●	●

Tabla 5. Matriz tentativa de roles para la implementación áulica de la metodología BIM
 Fuente: Elaboración de las autoras con base en Piña et al. (2017).

Referencias: ● Rol principal ● Rol sujeto al objetivo del modelo

de diseño como núcleo. Por ello, la práctica pedagógica propuesta para ser desarrollada durante agosto de 2020, en Taller Vertical de Arquitectura Ambiental (TVAA), toma como punto de partida la fase de diseño de una vivienda de interés social. El objetivo es aquí el de proporcionar a los alumnos conocimientos que les permitan plantear un diseño sustentable a partir de la verificación de los resultados, desde el comienzo de la experiencia áulica.

Desde ese punto de vista, además de la mecánica de trabajo y el MEI, se plantean los siguientes lineamientos

pedagógicos generales: conformación de grupos de trabajo; realización del diseño sustentable de una vivienda social (experiencia simplificada de diseño) a partir del uso de un software BIM; *brainstorming*; comparación de la experiencia con la práctica tradicional de diseño; determinación de beneficios y dificultades en la implantación de la metodología BIM durante el proceso de diseño; y elaboración de conclusiones grupales.

Es pertinente mencionar que las Solicitudes de Información BIM (SDI BIM), conocidas en los estándares europeos

BEP Tentativo de Oferta																											
Ítems	Característica	Variables										% de Cumplimiento															
		Nivel de competencia	Recursos	Capacidades	Experiencia Previa	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500	BIM		CAD	PDF	JPG	XLS	GIS	Otro	Planificación	Desarrollo	Construcción	Operación					
A. Información de Proyecto:	Llenar con la Propuesta Pedagógica																										
B. Introducción	Listado de Alumnos/ Equipo de Trabajo - Declaración de sus competencias previas	Arquitectura		●																							
		Estructura		●																							
		Instalaciones		●																							
		Otros:																									
C. Información del Modelado	Objetivo	Ej. Vivienda Social Bioclimática																									
	Usos BIM	Ej. Consumo Energético		●	●	●																					
	Desafíos del Modelado																										
	Oportunidades del modelado																										
	Nivel de Desarrollo																										
	Estrategias de modelado																										
	Verificación del Modelado																										
Verificación de Interferencias																											
D. Información de Referencia (INPUT)	Nombre del Archivo	Contenido principal																									
E. Roles y Funciones	Jefe de Cátedra																										
	Equipo de Cátedra																										
	Alumno (Individual)																										
	Alumnos (Equipo)																										
F. Cronograma	Ej. 10-06-2020	Ej. Diseño Urbano																									
G. Información a producir/ Entregables																											
H. Sistema coordinado para la Recopilación/ Gestión e Intercambio de Datos (CDE: Entorno de Datos Compartidos)																											
I. Conclusiones																											

Tabla 6. BEP Tentativo de Oferta.
 Fuente: Elaboración de las autoras con base en PlanBIM (2019) y SIBIM (2019).

como EIR (*Employer's Information Requirements*), son documentos que incorporan: objetivos, usos, tipo y niveles de información (TDI y NDI), entregables, estrategias de colaboración (Entorno de Datos Compartidos - CDE), estado de avance de la información (EAIM) y organización de los modelos (PlanBIM, 2019). Consecuentemente, como instancia previa a la elaboración del BEP, es conveniente su definición.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se elabora la Figura 5, que sintetiza el flujo de trabajo propuesto para el desarrollo de una experiencia áulica con base en la metodología BIM. De su análisis se infiere que el desarrollo de dicha experiencia requiere la determinación de los roles a cumplir por cada uno de los actores que intervienen en el proceso de diseño (Tabla 5), así como también los documentos previos a la presentación del BEP de Oferta (Tabla 6) y posterior BEP Definitivo. Adicionalmente, expone la complejidad inherente a la implementación de la metodología BIM en una práctica pedagógica, dado que la misma requiere del establecimiento previo de documentos que estructuren su desarrollo. En este sentido, es esencial el trabajo colaborativo del equipo de cátedra y del equipo de trabajo representado por los alumnos.

La estructura principal del BEP tentativo de Oferta propuesto en esta investigación (Tabla 6) fue elaborada con base en los BEP para el sector público de los estándares BIM, desarrollados por SIBIM (2019) y PlanBIM (2019). Los ítems indicados en rojo se corresponden con los aportados que deben ser completados conforme las características de la práctica académica a implementarse. Dado que es una tabla de doble entrada, las columnas correspondientes a "Variables" indican el grado de especificidad que debe alcanzar el modelo para cumplir con los objetivos planteados. Para completar dichas variables se utiliza, según corresponda, la metodología del semáforo, o bien, se indica la característica deseada para el ítem con una cruz. De acuerdo con el estado del arte, en el caso del uso de la metodología con fines pedagógicos, los indicadores empleados se corresponden con el porcentaje de cumplimiento alcanzado. En respuesta a ello, el BEP incorpora una columna que permite al BIM-Manager/Jefe de Cátedra evaluar el nivel alcanzado por el alumno o equipo de trabajo en cada ítem considerado. De tal forma, el uso de este BEP, además de contribuir a estructurar la práctica pedagógica y fomentar el trabajo colaborativo, facilita la evaluación, en tanto le otorga a la misma trazabilidad y transparencia.

Debe subrayarse que la experiencia áulica propuesta se corresponde con una de las primeras implementaciones de la metodología BIM en la FAUD-UNSJ. Por lo tanto, los resultados de la misma aportan a la formación de profesionales con competencias relativas a la metodología de la BIM y al trabajo colaborativo, en lo que González Pérez (2015) caracteriza como Big BIM, además del manejo de herramientas BIM (Little BIM). Igualmente, al estar orientado a la sustentabilidad edilicia se contribuye al uso de la metodología como sistema de apoyo a la toma de decisiones que pongan en valor dicha variable en etapas iniciales del proceso de diseño.

Entre las principales limitaciones para la implementación de la metodología BIM en una experiencia áulica orientada a la sustentabilidad edilicia, puede mencionarse el capital humano con el que se cuenta para la realización de la misma. En efecto, la determinación del nivel de conocimientos previos que poseen los alumnos es fundamental para direccionar los objetivos del proyecto piloto y los indicadores ambientales y de cumplimiento a evaluar. Para ello, previo a la realización de la experiencia áulica, debe llevarse a cabo una encuesta que haga posible determinar dicho nivel. Es importante retroalimentar la práctica pedagógica identificando las experiencias positivas y las mejorables. De ello, se obtienen las bases para estandarizar las prácticas positivas, redefinir aquellas a mejorar y detectar desvíos o formas ineficientes de trabajo a tiempo, lo cual se traduce en la mejora continua del equipo de trabajo (CAMARCO, 2020).

CONCLUSIÓN Y FUTUROS TRABAJOS

El estudio precedente permite inferir que el uso de la metodología BIM en el ámbito académico no solo es necesario para la formación de profesionales con competencias específicas en la misma, sino que también es altamente factible. El BEP propuesto, cuya estructura guarda relación con los estándares BIM desarrollados en Argentina y Chile, facilita la planificación de una experiencia pedagógica orientada a la incorporación de variables de sustentabilidad edilicia en etapas iniciales del proceso de diseño con base en el trabajo colaborativo.

Desde esta perspectiva, simular tres prototipos de vivienda social de uso generalizado en San Juan, Argentina, permitió determinar la mecánica de trabajo necesaria para pasar del BIM al BEM. De dicha tarea, se obtienen las particularidades propias del uso de un determinado software, lo cual favorece que tanto el docente como el alumno detecten rápidamente errores cometidos durante la realización del modelo. Paralelamente, conocer los alcances de los resultados obtenidos en Revit, ArchiCAD y EnergyPLUS permite al alumno realizar la actividad propuesta (proyecto piloto) en el software de su elección sin comprometer la validez de los resultados.

La matriz de roles, el BEP y el workflow propuesto generan una estructura que facilita la transición del modelo de formación actual a modelos colaborativos. Además, al poner el foco del

análisis en el desarrollo del BEM, se aporta positivamente al uso de la metodología como sistema de apoyo a la toma de decisiones relativas a variables de sustentabilidad desde instancias iniciales del proceso de diseño.

En este sentido, el BEP presentado en este artículo contribuye al desarrollo de estándares específicos que direccionen la forma de implementación de la metodología BIM en ámbitos académicos que, a su vez, garanticen que el alumno, independientemente del equipo docente y el software BIM, desarrolle competencias encaminadas a aumentar la productividad y aportar a la sustentabilidad de la industria de la construcción. De este modo, se ayuda a concientizar a los futuros profesionales respecto de la importancia que las decisiones tomadas durante el proceso de diseño tienen en el futuro comportamiento energético del proyecto, así como también en los impactos ambientales asociados al mismo, o bien, en el nivel de confort interior de sus espacios y, con ello, en la calidad de vida de sus ocupantes.

Para efectos de retroalimentación de su estructura, en la segunda etapa de esta investigación se validará la propuesta presentada en el TVAA de la FAUD-UNSJ. Asimismo, debe subrayarse que la implementación áulica de la metodología BIM, como parte activa del proceso de diseño requiere la determinación de documentos que exceden los alcances de esta primera etapa de investigación. Al respecto, y a futuro, se plantea la necesidad de abordar análisis que incluyan la determinación y caracterización del capital humano con que se cuenta, así como también la definición de los indicadores de evaluación posibles conforme los intereses y objetivos de cada cátedra de diseño, el estudio de normativo (ISO 19650), o bien, el desarrollo de documentos fuera de los mencionados en el presente artículo tales como: AIR (Asset information requirements), CDE (Common data environment), OIR (Organisational information requirements), PIR (Project information requirements), entre otros. Posteriormente, se debe profundizar también en el desarrollo de MEI, SDI y BEP, guías acordes al nivel académico del alumno, que integren en su estructura el intercambio de información con otras asignaturas y laboratorios. En relación con lo último, resulta de interés ahondar en la interoperabilidad entre BIM y GIS, a fin de elaborar un Modelo de Información de la Ciudad (CIM) que aporte a la toma de decisiones relativas al entorno urbano. Con ello, la práctica pedagógica se enriquecería como resultado del abordaje de conceptos de asignatura tales como "urbanismo" o "instalaciones".

AGRADECIMIENTOS

Este artículo corresponde a la primera etapa de un proyecto interno de investigación Convocatoria 2018-2019, denominado "Aplicación de herramientas BIM en el proceso de diseño bioclimático de viviendas sociales en zonas áridas", financiado por la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan y ejecutado en el Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental "Arq. Alberto H. Papparelli" - Resolución N° 093/18 - CD - FAUD.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blasco Gutiérrez, A., Parant, A., Olivier, A., González Redondo, M. y García, A. (2017). Implementación TIC en la docencia universitaria: estudio de los esfuerzos en vigas. *Advances in Building Education / Innovación Educativa en Edificación*, 1(1), 37-46.

Blat Tatay, D. (2016). Nuevas metodologías y tecnologías en el proceso constructivo y mantenimiento de infraestructuras y edificios singulares. Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/14566>.

Cámara Argentina de la Construcción (CAMARCO) (2020). *Primeros Pasos en BIM*. Recuperado de <http://www.camarco.org.ar/escuela-de-gestion/primeros-pasos-en-bim>

Chaves, F., Tzortzopoulos, P., Formoso, C. y Shigaki, J. (2015). *Using 4D BIM in the Retrofit Process of Social Housing*. Recuperado de [http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/25563/1/Paper_74.v1\[1\].pdf](http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/25563/1/Paper_74.v1[1].pdf)

Chong, H. y Wang, X. (2016). *The Outlook of Building Information Modeling for Sustainable Development*. Recuperado de https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/6640/239620_239620.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ESBIM (2018). *Guía Transversal. Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. Recuperado de <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/10/GUIA-ELABORACION-PLAN-DE-EJECUCION-BIM.pdf>

González Pérez, C. (2015). *Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos*. Proyecto Final de Máster en Edificación, Especialidad de Gestión. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior Ingeniería de Edificación. España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56357/TFM%202015%20CARLOS%20GONZALEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Granero, A. y García Alvarado, R. (2014). Aprendizaje temprano de arquitectura sustentable mediante vistas interiores graduadas. *Revista Hábitat Sustentable*, 4 (1), 14-24.

Graphisoft (2017). Manual de Ayuda ArchiCAD 21 – Archivos de Programa. Recuperado de www.graphisoft.com.

Jiménez Roberto, Y., Sarmiento, J., Gómez Cabrera, A. y Leal del Castillo, G. (2017). Análisis de sostenibilidad ambiental de edificaciones empleando metodología BIM (Building Information Modeling). *Ingeniería y Competitividad*, 19(1), 230 – 240.

Latorre Uriz, A., Sanz, C., Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes de la Construcción*, 71(556), e313, 1-9. <https://doi.org/10.3989/ic.67222>.

Llave Zarzuela, E., Arco Díaz, J. e Hidalgo García, D. (2019). Estudio comparativo-tecnologías BIM en Edificación: Arquitectura Sostenible Comparative study-BIM technologies in Building: Sustainable Architecture. *Anales de Edificación*, 5(3), 8-14. <http://dx.doi.org/10.20868/ade.2019.4362>

Lu, Y., Wub, Z., Changa, R. y Lib, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future

directions. *Automation in Construction* 83, 134–148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>.

Martin Dorta, N., Franco Pérez, C., Broock Hajar, D., González De Chaves y Assef, P. (2014). Análisis de la integración de la tecnología BIM y los indicadores de Sostenibilidad EDISOST. 2º Congreso Nacional BIM–EUBIM2014 Encuentro de Usuarios BIM–Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/37634/EUBIM_Encuentro%20de%20usuarios%20BIM%202014_2%c2%ba%20Congreso%20nacional%20BIM_6165.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Meana, V., Bello, A. y García, R. (2019). Análisis de la implantación de la metodología BIM en los grados de ingeniería industrial en España bajo la perspectiva de las competencias. *Revista Ingeniería de Construcción RIC.*, 34(2), 169-180. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v34n2/0718-5073-ric-34-02-169.pdf>

Mercader Moyano, M., Camporeale, P. y Cózar-Cózar, E. (2019). Evaluación de impacto ambiental mediante la introducción de indicadores a un modelo BIM de vivienda social. *Revista Hábitat Sustentable*, 9(2), 78 -93. <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.07>

Mojica Arboleda, A., Valencia Rivera, D., Gómez Cabrera, A., Alvarado Vargas, Y. (2016). Planificación y control de proyectos aplicando "Building Information Modeling". Un estudio de caso. *Ingeniería*, 20(1), 34-45.

Orrego, S. (2017). Encuesta Nacional BIM 2016: adopción de Building Information Modeling en Argentina. FODECO.

Piña Ramírez, C., Varela Lujan, S., Aguilera Benito, P. y Vidales Barriguete, A. (2017). Aprendizaje de los roles de los agentes BIM en la organización de proyectos. *Advances in Building Education / Innovación Educativa en Edificación*, 1(1), 47-55.

PlanBIM. (2019). *Estándar BIM para proyectos públicos Intercambio de Información entre Solicitante y Proveedores*. Comité de Transformación Digital CORFO. Recuperado de <https://planbim.cl/estandar-bim-para-proyectos-publicos-intercambio-de-informacion-en-solicitante-y-proveedores-sebastian-manriquez/>

Reyes, A., Prieto, P., Cortés, J. y Candelario, A. (2017). Aplicación de la tecnología BIM en la asignatura de proyecto del Grado de Ingeniería Industrial en la UNEX. *Advances in Building Education / Innovación Educativa en Edificación*, 1(1), 68-77.

Sakin, M. y Kiroglu, Y. (2017). 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia* 134, 702–711.

Salinas, J. y Prado, G. (2019). Building information modeling (BIM) to manage desing and construction phases of Peruvian public projects. *Building & Management*, 3(2), 48-59. <http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.2.3923>

SIBIM. BEP BIM Execution Plan. (2019). Plan de Ejecución BIM. Versión 01. Sistema de Implementación BIM. Ministerio del Interior Obras Públicas y Vivienda. Recuperado de <https://ppo.mininterior.gob.ar/SIBIM/Library/Index>

Soltani, S. (2016). The Contributions of Building Information Modelling to Sustainable Construction. *World Journal of Engineering and Technology*, 4, 193-199. <http://dx.doi.org/10.4236/wjet.2016.42018>.





TRANSICIÓN ENERGÉTICA ARGENTINA. EL NUEVO ESTÁNDAR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EVALUACIÓN DE LA VIVIENDA SOCIAL. CASO DE ESTUDIO: VIVIENDA DE BARRIO PAPA FRANCISCO

Recibido 24/02/2020
Aceptado 10/07/2020

ARGENTINEAN ENERGY TRANSITION. THE NEW ENERGY EFFICIENCY STANDARD IN THE EVALUATION OF SOCIAL HOUSING. CASE STUDY: DWELLING IN PAPA FRANCISCO NEIGHBORHOOD

ERNESTO KUCHEN

Doctor en Arquitectura

Investigador CONICET - Subdirector del Instituto Regional de
Planeamiento y Hábitat. Docente e Investigador Facultad de
Arquitectura Urbanismo y Diseño
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - Consejo Nacional
de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad
Nacional de San Juan (IRPHa-UNSJ-CONICET)

San Juan, Argentina

<http://orcid.org/0000-0001-6649-6932>

ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar

DANIEL KOZAK

PhD in Built Environment

Investigador CONICET - Director del Centro de Investigación Hábitat y
Energía. Universidad de Buenos Aires (CIHE-FADU-UBA)
Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR)- Consejo Nacional
de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)-Centro de
Investigación Hábitat y Energía (CIHE-FADU-UBA)

Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0003-3118-8950>

daniel.kozak@conicet.gov.ar

RESUMEN

El sector edilicio es responsable del 40% de la demanda energética a nivel internacional y el 37% en Argentina. La climatización constituye el ítem más representativo. Los países instituyen medidas para el uso racional de la energía y persiguen estrategias a fin de provocar la transición energética. La aprobación del estándar IRAM 11900 en Argentina promueve la Eficiencia Energética (EE) en el sector edilicio residencial que se pretende, sea inclusivo y conduzca a la transición al 2050. El objetivo del trabajo es la evaluación termo-energética de un prototipo existente de vivienda de interés social del Barrio Papa Francisco y sus variantes mejoradas "retrofit" y "ex ante", desde el enfoque de la norma. Para ello se relevan dimensiones, sistemas constructivos, componentes de la envolvente y equipamiento para cubrir demandas de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación. Como resultado relevante, el índice de prestaciones energéticas (IPE) del prototipo existente alcanza un valor de $132 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$. Además, las variantes mejoradas "retrofit" y "ex ante" conducen a ahorros económicos considerables en la inversión inicial. De aquí que se valora la importancia de implementar software de análisis en la etapa de proyecto para cuantificar los recursos energéticos y el ahorro de emisiones en una transición energética planificada.

Palabras clave

índice-ipe, vivienda social, norma iram-11900:2017, etiquetado energético

ABSTRACT

The building sector is responsible for 40% of the energy demand internationally, and for 37% in Argentina. Heating and cooling are the most representative item. Rational energy usage measures are being introduced in countries throughout the world, as well as strategies that pursue energy transition. The passing of the IRAM 11900 standard in Argentina promotes energy efficiency (EE) in the residential building sector, and it is expected to be inclusive and lead to the transition by 2050. The aim of this work is to perform the thermo-energy evaluation of an existing social dwelling prototype in "Barrio Papa Francisco" (Pope Francisco Neighborhood), as well as in its two improved variations: "retrofit" and "ex ante". For this, information is collected about the dimensions, construction systems, building envelope components and equipment to meet demands for heating, cooling, domestic hot water and lighting. As a relevant result, it is reported that the energy supply index (IPE, in Spanish) of the existing prototype reaches a value of $132 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\cdot\text{year}$. In addition, the retrofit and ex ante variations lead to considerable economic savings in the initial investment. This is why the importance of implementing software analysis at the design stage is considered as important in order to quantify energy resources and emissions savings in a planned energy transition.

Keywords

ipe-index, social housing, iram11900:2017 standard, energy labeling

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional las acciones para la transición energética difieren según las economías y estructuras sociales de los países. Modelos *STET*, *Socio-Technical Energy Transition* (en español, transición energética socio-técnica), permiten detectar focos y dinámicas que orientan a los países en sus transiciones, poniendo en discusión la participación tecnológica en sus economías y los valores de demanda de energía objetivo y emisiones de carbono (Li, Trutnevyte y Strachan, 2015). Las economías emergentes priorizan cambios de empleo de biomasa por vectores energéticos modernos. Las estrategias en países desarrollados, como Reino Unido, Francia y Holanda, van desde modelos de "retrofit" para la envolvente edilicia en la conservación de la energía, pasando por la planificación "ex ante" de la eficiencia energética, hasta modelos de desarrollo territorial para el crecimiento sustentable de nuevos barrios. Alemania, pionera en transición energética, desarrolla hace casi dos décadas el programa ENOB, *Energie Optimiertesbauen* (en español, Construcción Energéticamente Optimizada), que se centra en lograr una demanda de energía primaria para iluminación, calefacción/enfriamiento y ventilación de $100 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\text{a}$, en base a modelos planificados ex ante (Kuchen, Plesser y Fisch, 2012). Hoy, avanza con el programa *ENERGIE WENDE BAUEN 2020* (Programa para la Transición Energética en Construcción)¹, del Ministerio de Economía y Energía, llamado *Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude der Zukunft* (Planificación de edificios con eficiencia energética e impacto ambiental neutro), impulsando modelos de proyectos demostrativos de baja energía primaria, con renovables, y reducción de emisiones en las 4 fases de la vida útil.

La transición argentina persigue al 2050 la diversificación del mix energético con renovables, Eficiencia Energética (EE) en la vivienda, electrificación de la energía final, la digitalización de datos y el cambio de estrategias para bajar emisiones en industria, silvicultura y ganadería (Fernández, 2019); un plan que reúne los aportes de la experiencia internacional. El sector residencial, responsable de casi el 80% del consumo de recursos dentro del sector edilicio por la demanda calórica (Chevez, 2017), además de presentar el mayor potencial de acción, queda sujeto a constituirse en el talón de Aquiles en la transición, debido a su diversidad y extensión (Riavitz, Zambon y Giuliani, 2015).

El Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas en Argentina tiene como objetivo introducir la Etiqueta de EE como un instrumento que brinde información a los usuarios acerca de las prestaciones energéticas de la vivienda (Alonso Frank y Kuchen, 2017). El estándar, con

acento en modelos de abordaje de situaciones *ex ante* y *retrofit*, pretende generar, además, valor agregado a inmuebles (Secretaría de Energía de la Nación - SEN, 2020). El etiquetado tiene por fin constituirse en herramienta de decisión al realizar, con conciencia ambiental, una operación inmobiliaria: evaluar un nuevo proyecto o intervenir en viviendas existentes (SEN, 2020).

El método para obtener el índice de prestaciones energéticas (IPE), normalizado en el estándar de referencia (IRAM 11900, 2017), representa el requerimiento de "energía primaria" por unidad de superficie y año [$\text{kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\text{año}$], para satisfacer necesidades de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación de una vivienda. Según Risuelo (2010), el etiquetado debería suministrar información sobre diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales de los ciudadanos.

Las resoluciones iniciales desde la concepción de los proyectos son las más determinantes y las que ofrecen un mejor balance en la relación costo-beneficio. Resolver correctamente la orientación de un edificio, el grado de compacidad, dimensionar superficies vidriadas en base a las características climáticas del emplazamiento, *ceteris paribus*, no debería resultar más oneroso que las prácticas negligentes; además de que cualquier corrección durante la marcha de la obra suele ser extremadamente difícil (Kozak, Evans, Adamo, Abálsamo y Romanello, 2017).

Del mismo modo, la elección de materiales estructurales y operaciones de diseño sobre aberturas, ubicación de los filos y retranqueos de la superficie vidriada, tienen fuerte incidencia en la ecuación de costos económicos *versus* los beneficios energético-ambientales y de confort térmico (Evans, De Schiller y Kozak, 2015).

A medida que avanza el proyecto y construcción, se van cerrando oportunidades y para lograr un rendimiento termo-energético equivalente debe invertirse más dinero. Lo mismo ocurre con decisiones que atañan a la sustentabilidad, como la elección de un material según su impacto ambiental a partir de la energía embebida en su producción y la utilizada durante su traslado, o el grado de sanidad ambiental del proceso industrial durante su fabricación (Brent y Petrick, 2007).

En este trabajo se presenta el estudio de determinadas alternativas de estrategias constructivas, posibles de implementarse en una transición energética nacional, en el que se evalúa costos económicos y rendimiento. Como regla general, cuanto antes se incorporen las estrategias de EE y sustentabilidad en un proyecto de arquitectura, se conseguirán mayores beneficios a menores costos.

¹ *Energie Wende Bauen. Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude der Zukunft. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. BMW 2020. Recuperado de <https://projektinfos.energiewendebauen.de/forschung/forschungsfoerderung/energieoptimiertes-bauen/>*

METODOLOGÍA

En términos metodológicos, en primer lugar, se identifica una unidad representativa del Barrio Papa Francisco. Luego, se lleva a cabo un trabajo de campo para la recolección de datos a analizar. Se relevan características geo-referenciales, técnico-constructivas (muro, solado, cubierta y abertura), adyacencias, obstrucciones solares, zonas térmicas, ambientes no climatizados o no habitables, así como equipamiento destinado a cubrir demandas de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación y aporte renovables. Para la evaluación de las prestaciones energéticas de la unidad, se consideran

las exigencias del estándar (IRAM 11900: versión 2017) y para el cálculo, el aplicativo informático (software) de referencia (Etiquetado de Viviendas). En función de los resultados obtenidos de la unidad de referencia, se practican mejoras a los componentes constructivos de la envolvente opaca y transparente en las instancias *retrofit*, es decir, la adecuación retroactiva de la vivienda terminada, y *ex ante*, o sea, simulando la etapa de anteproyecto previo a la construcción de la vivienda. Además de las ventajas energéticas de abordar diferentes estrategias, en un proceso conducente hacia una transición energética aplicada mediante este tipo de modelos, se evalúan las conveniencias económicas y ambientales.



a) Avance obra al año 2019.



b) Emplazamiento del objeto de estudio.

Figura 1. Intervención de vivienda de interés social en Barrio Papa Francisco.

Fuente: Instituto de la Vivienda de la Ciudad (IVC). Buenos Aires.



a) Identificación de la unidad en línea de trazo discontinua (en rojo).



b) Terminación fachada y zócalo comercial en PB.



c) Acabado superficial interior y abertura de aluminio.

Figura 2. Bloque de viviendas seleccionado para la evaluación termo-energética.

Fuente: Instituto de la Vivienda de la Ciudad (IVC). Buenos Aires.

IDENTIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

En Villa 20 viven 27.000 personas, en 4.581 viviendas (48 hectáreas). La propuesta de "integración de los barrios" (Instituto de la Vivienda de la Ciudad - IVC, 2016) consiste en generar 1.700 nuevas unidades habitacionales (Figura 1a). Se elige un prototipo existente como caso de estudio en vivienda social de la relocalización de Villa N°20 a Barrio Papa Francisco, en Villa Lugano, Provincia de Buenos Aires, en zona bioambiental III-B, con clima templado cálido húmedo, según clasificación de norma IRAM 11603 (2012), con temperatura media de invierno de 12,8°C (mín. de 9,7°C y máx. de 16°C) y de verano, de 23,3°C (mín. de 19,6°C y máx. de 27°C), y humedad relativa ambiente del 77%, en invierno, y 69,3%, en verano. La demanda de energía de calefacción en base de confort 20°C, según IRAM 11603 (2012), es de 1249 grados/día. El prototipo de "tipología compacta" es estándar, dentro del conjunto de otros con similares características (Figura 1b).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS

El inmueble de estudio se sitúa en el 3^{er} piso de un bloque, al que se accede por escalera y que se agrupa en 8 subbloques de 5 niveles cada uno (Figura 2a), con zócalo comercial en Planta Baja y departamentos simplex en 1^{er} y 2^{do} nivel (Figura 2b).

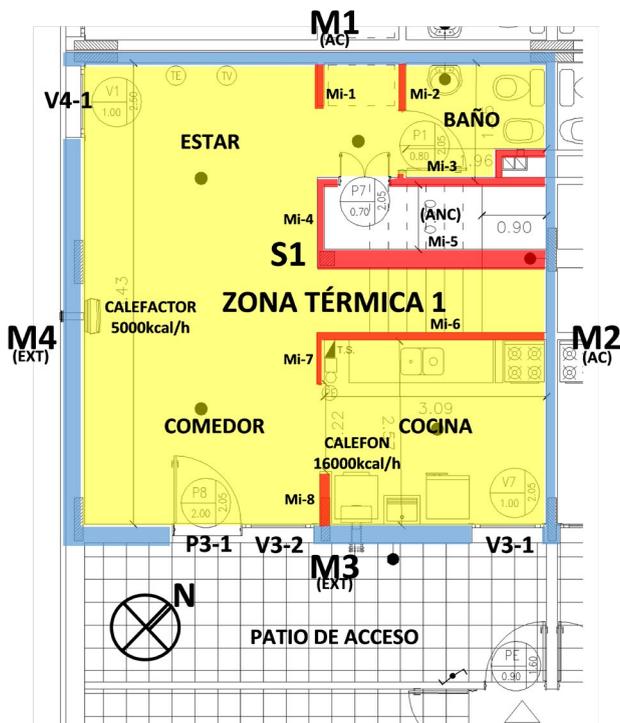
El prototipo es un dúplex con superficie útil de 78,6 m², altura interior de 2,6 m (Figura 2c) y volumen de 204,5 m³. El

programa se compone de patio de acceso exterior a estar-comedor, cocina y baño en planta baja y 3 dormitorios con baño completo en planta alta (Figura 3).

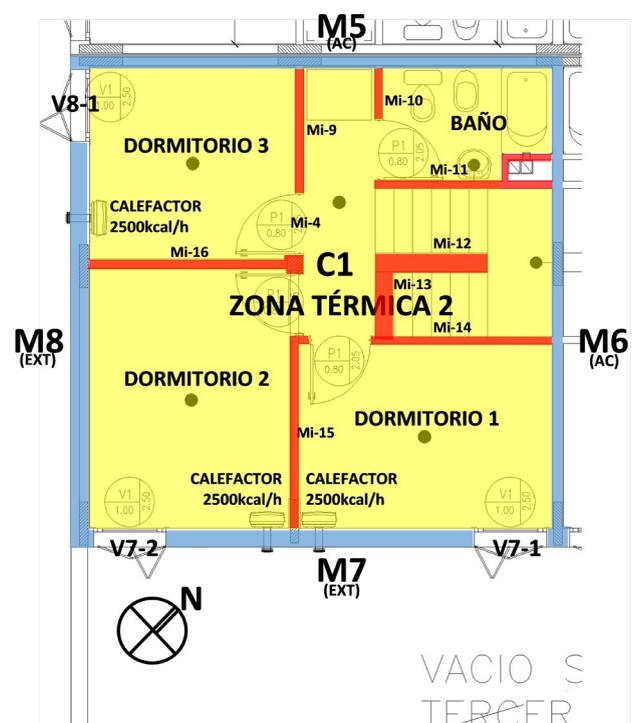
La envolvente se compone de muros de bloque cerámico hueco de 18cm, con revoque exterior termoaislante del tipo Isolteco de 3 cm, color blanco, revoque interior plástico tipo rewear de 2 cm (blanco), con coeficiente de transferencia $K=1 \text{ W/m}^2\text{K}$; cubierta de chapa galvanizada, aislada con 5 cm de lana de vidrio y cielorraso con placa de yeso de 1,5cm (blanco), $K=0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ y solado de cerámico (color beige) $K= 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ (entrepiso). Las aberturas, de 1m de ancho y 2,10 m de altura son de abrir, aluminio blanco, doble contacto y vidrio simple. Como protección solar poseen cortinas de enrollar de PVC blanca, con tapa rollo sobre marco superior hasta altura de dintel (Figura 2c), $K=3,68 \text{ W/m}^2\text{K}$.

EQUIPAMIENTO

Destinado a cubrir requerimientos para asegurar calidad de vida, mantener la temperatura interior >20°C en invierno y <26°C en verano, agua caliente (42°C) e iluminación en ambientes interiores >300 Lux. Para calefacción, tiene una potencia instalada de 5,82 kW, en calefactores tiro balanceado, 1 de 5000 kcal/h y 3 de 2500 kcal/h. Para Agua Caliente Sanitaria (ACS), un calefón de 16000 kcal/h (ver Figura 3), en iluminación, lámparas LED con un total de 72W. No posee instalación para refrigeración. No presenta Energías Renovables.



a) Planta baja del prototipo en dúplex.



b) Planta alta del dúplex.

Figura 3. Unidad de habitación en planta. Identificación equipamiento, elementos de envolvente: muros y aberturas; solado y cubierta; zonas térmicas y orientación. Fuente: Elaboración de los autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la implementación del software aplicativo de cálculo (Etiquetado de Viviendas, 2020) que promueve la Secretaría de Energía de la Nación (SEN, 2020), según exigencias de la norma (IRAM 11900, 2017), se calculan características dinámicas, requerimientos e indicadores del comportamiento térmico-energético a fin de analizar variantes de decisión para la eficiencia y el saneamiento energético de viviendas.

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DINÁMICAS

Las características energéticas dinámicas se refieren a la relación entre los aportes y las pérdidas de cada período en que se demanda energía adicional. A partir de la simulación, se detecta que, del total de los aportes gratuitos, se logra captar el 30% en invierno y es posible aprovechar casi el total de los mismos (97%). Inversamente a esto, el porcentaje de pérdidas por ventilación y conducción de energía térmica desde la envolvente en verano (dispersión térmica), es del 48% de lo que solo es aprovechable, menos de la mitad (47%). El emplazamiento del prototipo presenta condiciones desfavorables de asoleamiento en relación a los "aportes gratuitos", y de ventilación efectiva para la "dispersión térmica".

El grado de compacidad del inmueble puede ser beneficioso. En este, la relación entre área de envolvente y volumen climatizado "A/V", medido en [m⁻¹], es de 1,5 m⁻¹ (buena). A este beneficio, se le suma el "factor de intercambio térmico", que hace referencia a la ubicación de la unidad respecto del conjunto, con valor adimensional en escala de 0-1, siendo de 0,36 (bajo). De ello, se evidencia que la ubicación aporta un beneficio en invierno. La estrategia de ventilación de la vivienda juega un rol fundamental en la "dispersión térmica", debiendo asegurarse en verano, sobre todo en horas de la noche cuando la temperatura exterior disminuye, por ventilación cruzada.

El "factor de intercambio térmico" se refleja en el valor del "coeficiente global de intercambio térmico (H)", que indica que por cada grado de diferencia de temperatura entre interior-exterior deberá asegurarse un requerimiento de energía según estaciones del año. Para este prototipo, H es 106 W/K en invierno (bajo) y de 2,6 veces mayor en verano, 274 W/K (alto). Un coeficiente H bajo indica mejores niveles de "constante de tiempo", medido en horas [h], es decir la capacidad térmica de la envolvente para absorber el salto térmico interior-exterior, siendo 28,5 h para invierno y 11 h para verano.

ÍNDICE DE PRESTACIONES ENERGÉTICAS (IPE)

El IPE representa el valor de energía primaria [kWh_{Primaria} / m².a] en referencia al impacto ambiental del uso de la energía demandada y su valor da cuenta del nivel de eficiencia energética. En relación al prototipo evaluado, la

Tipo de Energía medida en [kWh / m ² . año]	Útil	Neta	Primaria
Calefacción	47	72	90
Refrigeración	12	5	18
Producción ACS	12	16	20
Iluminación	-	1	4
Requerimiento específico global de energía			132
Contribución específica de energías renovables			0
Índice de Prestaciones Energéticas, IPE. [kWh / m ² . año]			132

Tabla 1. Total de energía requerida para cubrir demandas térmicas y lumínicas de la vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 1 muestra valores de "energía útil, neta y primaria" que se debe entregar al sistema, por [m²] útil del inmueble en un año. El IPE resultante en Tabla 1, de 132 kWh_{Prim.} / m².a, es un valor de referencia del requerimiento de energía primaria y que en relación al promedio, en la etiqueta se corresponde con la Categoría D (color amarillo), es decir, "calidad media o estándar" según IRAM 11900:v.2017.

La "energía útil" es la energía térmica que permitirá mantener la temperatura interior $\geq 20^{\circ}\text{C}$ en invierno con Calefacción (47 kWh/m².a), $\leq 26^{\circ}\text{C}$ en verano con Refrigeración (12 kWh/m².a) y $\geq 42^{\circ}\text{C}$ el ACS (12 kWh/m².a). Estos valores de energía encontrados para este inmueble de 78,6 m², variarán según zona climática, forma, asoleamiento, compacidad, infiltraciones y aislación, entre otros. La "energía neta" representa la energía que requiere la vivienda para cubrir la demanda térmica y lumínica (eléctrica y/o gas). Este indicador permite ver reflejado el rendimiento de los equipos instalados. La "energía primaria" es la energía que se necesita obtener, antes de ser transformada y/o transportada, para ser entregada como energía térmica o lumínica al ambiente. Para calcularse se emplean "factores de reducción a energía primaria" y su valor dependerá del tipo de matriz energética. Para el caso de Argentina, el factor de reducción del vector gas a energía primaria será de 1,25 y de electricidad de 3,3.

CALEFACCIÓN

La calefacción "calefactor gas de tiro balanceado" se refleja al observar que, para entregar 47 kWh_{Útil} / m².a, hace falta una cantidad adicional de energía que se pierde por ventilación de los gases de combustión. Se deberá consumir 72 kWh_{Neta} / m².año (ver Tabla 1), es decir, un 65% más, sin obtener el beneficio térmico. En el caso de tratarse del vector "gas distribuido por redes", hace falta disponer de 90 kWh_{Prim.} / m².a, para cubrir la demanda térmica, es decir, un 25% adicional sobre la energía neta entregada.

REFRIGERACIÓN

La unidad estudiada no posee equipamiento de refrigeración, lo que no quiere decir que no lo necesite. Según cálculos para mantener el interior $\leq 26^{\circ}\text{C}$, se requieren $12 \text{ kWh}_{\text{Util}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$. Condiciones térmicas no adecuadas llevarían al usuario a instalar, por ejemplo, un Split. El coeficiente de performance COP, de clase "A" de EE, en Argentina es $\text{COP}=3,3$; lo cual significa que por cada unidad de energía eléctrica entrega 3,3 unidades de energía térmica. Al no conocerse el COP, el aplicativo provee un valor hipotético de $\text{COP}=2,4$ (Categoría C o D), requiriendo $5 \text{ kWh}_{\text{Neta}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (ver Tabla 1). Para el abastecimiento de energía eléctrica se requieren $18 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$.

ACS

La energía térmica útil que hay que agregarle al agua para elevarla a 42°C es de $12 \text{ kWh}_{\text{Util}}/\text{m}^2\cdot\text{a}$, valor que depende de la superficie útil de la vivienda y variará en función del rendimiento del equipo. Un calefón a gas con encendido instantáneo y piloto automático será un 30% más eficiente que el que mantiene el piloto encendido. La potencia instalada en producción de ACS (16000 kcl/h) cubre la demanda de energía útil en base al sistema convencional que requiere $16 \text{ kWh}_{\text{Neta}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (un 30% más) y que, por abastecerse de gas de red, requerirá un 25% adicional, esto es, $20 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$.

ILUMINACIÓN

La tecnología LED permite transformar casi la totalidad de la energía neta en útil, aunque el impacto del uso de la red de electricidad seguirá siendo alto, ya que para entregar de $1 \text{ kWh}_{\text{Neta}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$ se requerirán $4 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\cdot\text{año}$.

ENERGÍAS RENOVABLES

La vivienda no dispone de energías renovables. El supuesto de incorporar estas tecnologías (solar, eólico, biomasa, geotérmico, etc.), implica que la fracción generada para autoconsumo térmico o eléctrico reducirá la demanda total de energía primaria.

REQUERIMIENTO TOTAL DE ENERGÍA (GAS Y ELECTRICIDAD)

Del requerimiento total de energía de los vectores electricidad $394 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{año}$ y gas $4187 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{año}$, el de mayor demanda es por calefacción $2944 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{año}$ y ACS $1243 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{año}$. La demanda de Refrigeración alcanza $299 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{año}$ y la de iluminación es despreciable.

REQUERIMIENTO TOTAL DE ENERGÍA SEGÚN ZONAS TÉRMICAS

Por tratarse de un dúplex, se se deben identificar dos zonas térmicas (Figura 3): Zona 1 (Z1) en Planta Baja y Zona 2 (Z2) en Planta Alta. No presentan diferencias significativas de demanda térmica de calefacción en invierno. Z1 tiene un requerimiento de energía de $1779 \text{ kWh}_{\text{Util}}/\text{a}$ y Z2 de $1914 \text{ kWh}_{\text{Util}}/\text{a}$. En verano, la dispersión térmica no llega a ser efectiva siendo de $287 \text{ kWh}_{\text{Util}}/\text{a}$ en Z1 y más del doble en Z2, alcanzando $687 \text{ kWh}_{\text{Util}}/\text{a}$. Esta diferencia se puede atribuir al bajo nivel de aislación y elevado grado de exposición de la cubierta.

COMPORTAMIENTO DE LA ENVOLVENTE

Las diferencias energéticas observadas en las zonas Z1 y Z2 conducen a realizar una evaluación particular de la envolvente con sus componentes opacos: muro

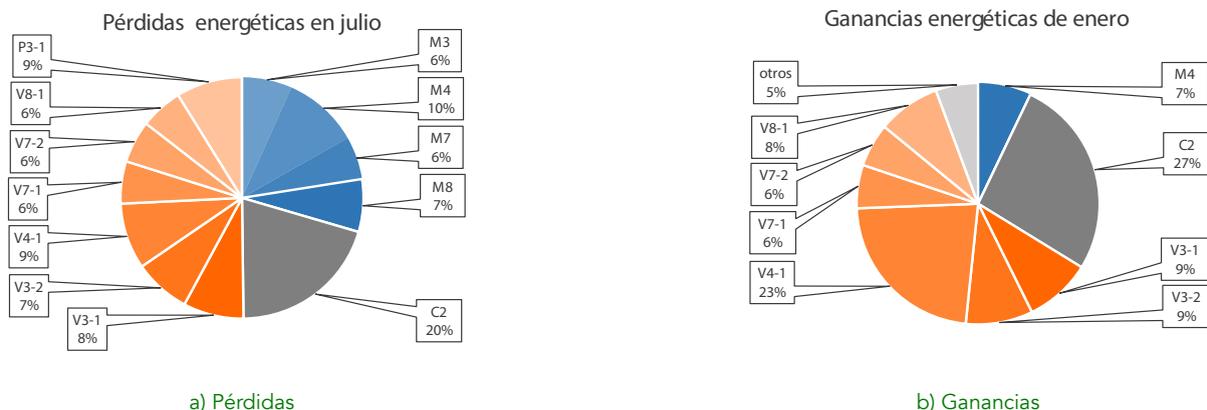
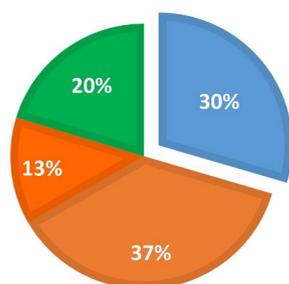


Figura 4. Identificación elementos constructivos involucrados en pérdidas y ganancias energéticas. Nomenclaturas según planos en Figura 3. Fuente: Elaboración de los autores.

PERDIDAS ENERGÉTICAS JULIO



GANANCIAS ENERGÉTICAS ENERO

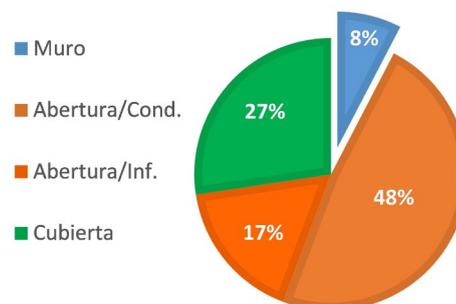


Figura 5. Pérdidas y ganancias por la envolvente, según meses de julio y enero. Fuente: Elaboración de los autores.

(M), solado (S) y cubierta (C); aberturas: ventana (V) y puerta (P). La Figura 4 muestra la influencia porcentual de las partes constructivas, en relación al requerimiento energético en los períodos de mayor demanda mensual: julio, por pérdidas (calefacción), y enero, por ganancias (refrigeración).

De la sumatoria de pérdidas y ganancias equivalentes, es en particular la cubierta (C2) la que se muestra como la más importante, con pérdidas en julio equivalentes al 20% y ganancias en enero del 27% del total. Además, el muro (M4) corresponde al de mayor pérdida en julio y, sobre el mismo, la abertura (V4-1), la de mayor ganancia en enero (23%).

El 50% de las pérdidas en julio y el 65% de las ganancias en enero se dan a través de las aberturas. Si discriminadas según modo de transferencia térmica, las ocurridas por infiltración superan en $\frac{3}{4}$ a la transferencia por conducción (Figura 5).

HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Mejorar los niveles de retardo, o sea, bajar en horas el nivel de pérdidas en invierno y dispersión en verano, replanteando el nivel de transmitancia térmica de la envolvente en muros y cubierta, y de aislación e infiltración de las aberturas, permite la corrección de los ítems de mayor impacto "calefacción y refrigeración" y conservar las condiciones térmicas beneficiosas para el confort humano al mínimo requerimiento energético.

Contrastar esta hipótesis, lleva a analizar en qué grado el proyecto original existente se pensó en términos de sustentabilidad. Luego de calcular y verificar condiciones de aislación y resistencia térmica, según norma IRAM 11601 (2002) e IRAM 11549 (2002) -exigencias consideradas en Ley Provincial 13059 (2003)-, se simulan 3 (tres) variantes adicionales. Una del tipo de construcción masiva llamada "convencional"; otra en que la vivienda existente es

mejorada en etapa de post ocupación *retrofit*; y una última en la que, en etapa de proyecto arquitectónico, se toman decisiones a fin de alcanzar la mejor EE y el menor impacto ambiental *ex ante*.

CONVENCIONAL

- Muros generales: Revoque interior 2cm, ladrillo hueco cerámico 18cm, revoque exterior 3cm sin aislación. *Valor K (conductividad térmica) = 1,54 W/m²K.*
- Cubierta: Terminación con yeso 2cm, losa de hormigón armado de 12cm sin aislación, membrana asfáltica 0,03 cm. *K = 4,53 W/m²K.*
- Aberturas: Vano de abertura un 50% mayor al existente. Ventana marco aluminio, vidrio simple, hoja de abrir, sin protección solar. *K = 5,8 W/m²K.*
- Equipamiento: Igual a "existente".

RETROFIT

A la existente se adiciona o recambia:

- Muro al exterior: Adic. Placa termoaislante revestida 3cm. *K = 0,55 W/m²K.*
- Cubierta: Adic. Lana de vidrio 8cm. *K = 0,34 W/m²K.*
- Aberturas: Recambio ventana marco PVC y DVH 4+16+4, de abrir, cortina de enrollar PVC. *K = 1,91 W/m²K.*
- Equipamiento: Igual a "existente"

EX ANTE

Nueva envolvente:

- Muro al exterior: Placa de yeso 1,5cm, cámara de aire 7 cm, panel termoaislante PUR 10 cm, terminación de chapa al exterior. *K = 0,26 W/m²K.*
- Cubierta: Cielorraso suspendido de placa de yeso 1,5cm, capa de aire no ventilada 10cm, panel termoaislante PUR para techos 10 cm. *K = 0,25 W/m²K.*
- Aberturas: Ventana marco PVC y DVH 4+16+4, hoja de abrir, cortina de enrollar PVC. *K = 1,91 W/m²K.*
- Equipamiento: Reducido (4 calefactores 1500 kcal/h.)

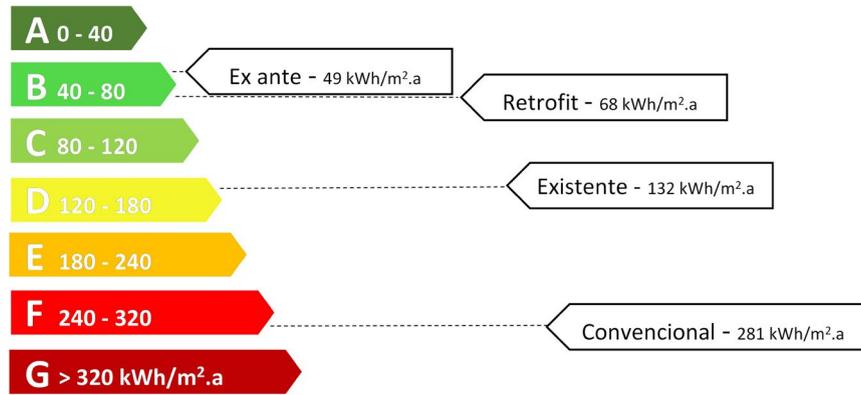


Figura 6. Etiqueta de Eficiencia Energética según IRAM 11900:v.2017. Valores IPE. Fuente: Elaboración de los autores.

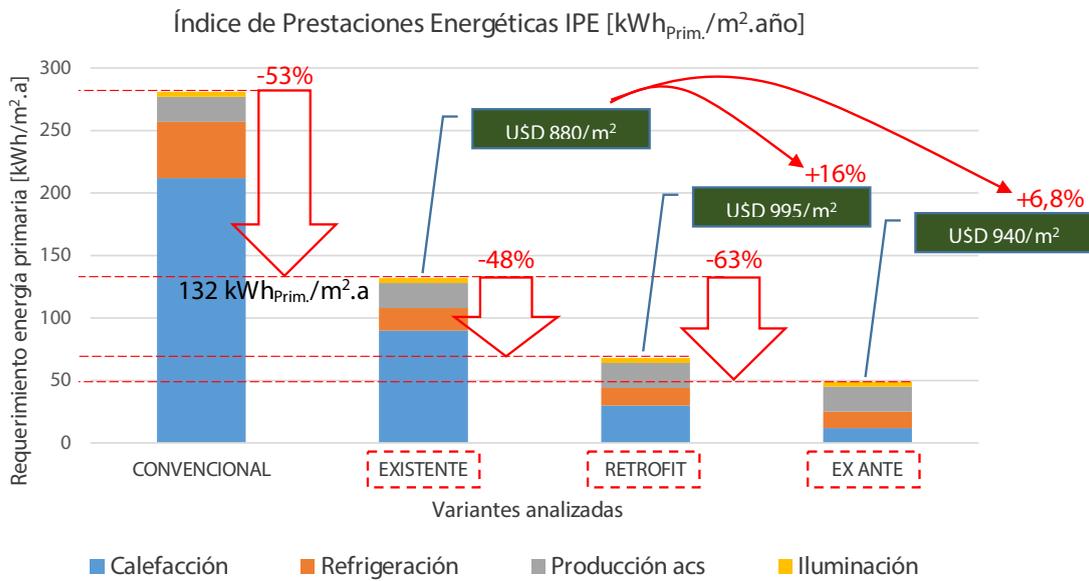


Figura 7. Requerimientos energéticos primarios por variante y año. Fuente: Elaboración de los autores.

Variante	IPE [kWh _p /m ² .a]	Sup. [m ²]	Energía [kWh/a]	Costo año [\$]	Constr. [U\$/m ²]	Inversión [U\$/Un.]	Inversión [\$/\$Un.]	Inv. Tec. [\$/\$Un.]	Amortización [años]
Existente	132	78,6	10375,2	30243,708	880,0	69.168,0	5.083.848,0	0,0	
Retrofit	68	78,6	5344,8	15580,092	995,0	78.207,0	5.748.214,5	664.366,5	45,3
Ex ante	49	78,6	3851,4	11226,831	940,0	73.884,0	5.430.474,0	346.626,0	18,2

Tabla 2. Comparación de costos energéticos versus costos económicos de las variantes retrofit y ex ante, respecto de la variante "existente". Fuente: Elaboración de los autores. Referencias divisa USD1,00/\$73,5 al 01/07/2020, Banco de la Nación Argentina.

De la simulación de las variantes propuestas, se obtienen los IPE, por variante y los valores se plasman en la etiqueta según IRAM 11900:v2017, en categorías (Figura 6). La variante "existente", con 132 kWh_{Prim.}/m².a, se ubica en término medio, corresponde a categoría D, y llega a ser un 53% más eficiente que la variante "convencional", con 281 kWh/m².año (Categoría G). Las mejoras incorporadas a variante "existente", conducen un incremento en EE, logrando un IPE en variante *retrofit* de 68 kWh_{Prim.}/m².año y 49 kWh_{Prim.}/m².año en variante *ex ante*, ambas categorizadas "B" en la escala de EE.

IMPACTO ECONÓMICO

La Figura 7 muestra una evaluación general del costo de construcción [U\$/m²] en relación al beneficio energético según variantes analizadas, considerando los ítems calefacción, refrigeración, ACS e iluminación en [kWh_{Prim.}/m².a]. De aplicar mejoras, las variantes *retrofit* y *ex ante* llegan a ser, respectivamente, un 48% y un 63% más eficientes que la variante "existente". Las estrategias de aislación de la envolvente y recambio de aberturas logran ser efectivas. Para bajar el IPE en estas últimas deberá implementarse tecnología en renovables.

El análisis del costo [U\$/m²], en cuanto al beneficio energético [kWh_{Prim.}/m².año], indica que la variante *retrofit* representa incrementos del 16% por encima de la variante "existente". La variante *ex ante* llega a ser más conveniente económica y energéticamente por significar incrementos del 6,8%, por encima de la "existente", y requerir solo 49 kWh_{Prim.}/m².año (Figura 7).

A modo de síntesis, la Tabla 2 presenta valores de prestaciones (IPE) y costos energéticos anuales según variante (Ref. 2,915 \$/kWh, T1-R3, residencial hasta 400 kWh, EDENOR) y su relación con los costos de construcción [U\$/Unidad] que se muestran en la Figura 7.

A fin de estimar un período de amortización de la inversión, se computan a valores locales los costos de inversión en tecnología [\$/\$Un.], respecto a los ahorros

anuales potenciales por variante [kWh/año]. Ello hace posible determinar que de perseguir la variante *retrofit*, el horizonte de amortización será de 45,3 años y de optarse por la variante *ex ante*, será de 18,2 años.

Debe aclararse que este análisis no contiene la afectación que sufriría el precio de la energía en el tiempo, calculado por Marinozzi (2020) en base a un factor de crecimiento de precio monómico anual de 0,672. De esta forma, es difícil afirmar una hipótesis de la evolución de precio de la energía a futuro y, por tanto, las estimaciones de la amortización son lábiles.

IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO

El impacto ambiental asociado es directamente proporcional al consumo energético y dependerá del vector energético involucrado (ver punto 3.2). Según el inventario nacional de gases de efecto invernadero (Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable-MAyDS, 2017), el sector residencial impacta en 5^{to} lugar, después de ganadería, transporte, silvicultura y generación de electricidad, con 28,41 MtCO₂eq/año, lo que representa el 7,7%, sin considerar impacto de aguas residuales y residuos sólidos urbanos (3,8%). En relación al consumo energético, el impacto ambiental del mix energético argentino, al año 2018, es de 412 gCO₂eq/kWh. De las variantes, la "existente" emite 54 kgCO₂eq/año.

De considerar que el impacto de 1700 viviendas en Papa Francisco en 80 años (vida útil), podría ser 0,007 MtCO₂eq, reducir el impacto asociado al consumo de recursos constituye una tarea fundamental para el desarrollo sustentable e inclusivo en la integración de los barrios en un plan de transición energética.

CONCLUSIONES

La distribución de recursos energéticos planificada se convierte en *leitmotiv* a la hora de garantizar accesibilidad y equidad en el uso del servicio energético, lo cual, sin lugar a dudas, es el motor de una transición energética obligada.

La posibilidad de referenciar valores admisibles de demanda de energía por superficie y año en la comparación, así como el hacer visibles los beneficios energéticos, económicos y ambientales traducidos en una etiqueta de EE energética (IRAM 11900, 2017), contribuyen con el proceso de concientización de una población en formación. La norma representa un cambio de paradigma para la construcción sustentable.

La Ley 13.903 (2017) de Santa Fe promueve su impulso a que inmuebles clasificados con categoría "A" reciban la bonificación del 30% del impuesto inmobiliario urbano. Se espera que una vivienda que acceda a una etiqueta con Clase de Eficiencia Energética CEE, se registre en la escritura de dominio y se traslade al Registro General de la Propiedad a fin de otorgar valor a la unidad y motivación a propietarios e inquilinos.

Las resoluciones efectuadas en la concepción de los proyectos son las más determinantes y las que ofrecen un mejor balance en la relación costo-beneficio. A medida que avanza el proceso proyectual y la construcción se van cerrando posibilidades de modificar a conciencia. El Índice de Prestaciones Energética (IPE), como referencia para la comparación con valores de referencia, constituye una herramienta clave a la hora de proyectar inmuebles desde cero.

La unidad del Barrio Papa Francisco responde a mejores criterios de sustentabilidad respecto de una variante convencional de uso masivo, aunque de haberse iniciado la evaluación de los beneficios en su fase inicial, estaríamos en presencia de una solución constructiva un 63% más eficiente con un impacto asociado la mitad más bajo y apenas un 6,8% más onerosa, y dejando una impronta clave en planificación del ambiente construido.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina, al Instituto de Doble Dependencia IRPHa-UNSJ-CONICET, al CEUR-CONICET y al CIHE-FADU-UBA. También a la Arq. Eliana Ghia y la Arq. Natalia Felder en el análisis de datos y evaluaciones energéticas, y al Dr. Martín Motta y al Instituto de la Vivienda de la Ciudad de Buenos Aires por el aporte de información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso Frank, A. y Kuchen, E. (2017). Validación de la herramienta metodológica de Alonso Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan-Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1), 6-13.

Brent, A. C. y Petrick, W. (2007). Environmental impact assessment during project execution phases: towards a stage-gate project management model for the raw materials processing industry of the energy sector. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 25(2), 111-122. <https://doi.org/10.3152/146155107X205832>

Chevez, P. (2017). *Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas Doctorado en Ciencias - Área Energías Renovables.

Etiquetado de Viviendas (2020). Aplicativo Informático Nacional 2020. Recuperado de <http://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/>

Evans, J. M., De Schiller, S. y Kozak, D. (2015) – Auditorías de comportamiento térmico y eficiencia energética en edificios con acondicionamiento natural. En: S. de Schiller y J.M. Evans (Eds.), *Eficiencia Energética en el Hábitat Construido* (pp. 191-202). Buenos Aires: CIHE-FADU-UBA.

Fernández, R. (coord.). (2019). *Transición Energética 2050. Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050: propuesta de objetivos y metas*. (Edición: J. Dumas y D. Ryan). Buenos Aires: Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (UBA), Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), Fundación AVINA, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Secretaría de Gobierno de Energía.

Instituto de Vivienda de la Ciudad (IVC). (2016). Integración de los barrios. Recuperado de <https://vivienda.buenosaires.gob.ar/#top>

IRAM 11549 (2002). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. *Aislamiento Térmico en Edificios- Vocabulario*. Buenos Aires, Argentina.

IRAM 11601 (2002). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. *Aislamiento Térmico de Edificios: Métodos de Cálculo*. Buenos Aires, Argentina.

IRAM 11603 (2012). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. *Acondicionamiento térmico en Edificios: Clasificación Bioambiental de la República*. Buenos Aires, Argentina.

IRAM 11900 (2017). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. *Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética*. Buenos Aires, Argentina.

Kozak, D., Evans, J., Adamo, G., Abalsamo, D. y Romanello, L. (2017). Sustentabilidad en viviendas de escala intermedia en Buenos Aires. *Revista Summa*, 155, 102-110.

Kuchen, E., Plesser, S. y Fisch, M.N. (2012). Eficiencia energética y confort en edificios de oficina. El caso alemán. *Revista Internacional Hábitat Sustentable*, 2(2), 34-44.

Ley N° 13.059 (2003). Poder Legislativo de la Provincia de Buenos Aires. Acondicionamiento térmico de edificios de la Provincia de Buenos Aires. Cámara empresaria de desarrolladores urbanos de la República Argentina. Buenos Aires, 9 de abril de 2003.

Ley N° 13.903 (2017). Poder Legislativo de la Provincia de Santa Fe. Etiquetado de eficiencia energética de inmuebles destinados a vivienda. Cámara de Diputados de la Provincia de Santa Fe, 1 de octubre de 2017.

Li, F., Trutnevyte, E. y Strachan, N. (2015). A review of socio-technical energy transition (STET) models". *Technological Forecasting and Social Change*, 100, 290-305. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.017>

Marinozzi, E. (2020). Informe Mensual CAMMESA. Principales Variables del Mes. Gerencia Análisis y Control Global. Mayo 2020. Recuperado de <https://portalweb.cammesa.com/default.aspx>

Riavitz, L., Zambon, H. y Giuliani, A. (2015). La matriz energética argentina y la restricción externa. *Cuadernos de Investigación. Serie Economía*, (5), 110-141.

Risuelo, F. (2010). *Certificados de eficiencia energética en edificios*. Resumen ejecutivo. Buenos Aires: FODECO.

Secretaría de Energía de la Nación (SEN). (2020) Eficiencia Energética: Programas. *SEN 2020*. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia>

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) (2017). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>





INCIDENCIA DE LAS ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN LA ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARGENTINA

Recibido 11/05/2020
Aceptado 09/07/2020

IMPACT OF PASSIVE ARCHITECTURAL DESIGN STRATEGIES ON THE ENERGY EFFICIENCY LABEL IN ARGENTINA

AMALITA FERNANDEZ
Arquitecta

Becaria Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas
y Técnicas - Estudiante doctoral
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
(CONICET) - Universidad Nacional de Salta (UNSA)
San Miguel de Tucumán, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-5848-2685>
amalita93@gmail.com

BEATRIZ SILVIA GARZÓN
Doctora en Ciencias

Investigadora Independiente CONICET y Profesora Asociada
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán - Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
San Miguel de Tucumán, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>
bgarzon06@gmail.com

DAVID ELSINGER
Arquitecto

Becario Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas
y Técnicas - Estudiante doctoral Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán - Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
San Miguel de Tucumán, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1166-7575>
delsinger@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El trabajo presenta un análisis comparativo realizado entre el Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), definido por el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas basándose en la Norma IRAM 11900, y las Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico (EPDA) definidas en dicha norma. La comparación es aplicada a soluciones de rehabilitación energética para la evaluación de mejoras en Eficiencia Energética (EE) en una vivienda en San Miguel de Tucumán, Argentina. Tiene como objetivo evaluar la incidencia de las EPDA en el valor de IPE de la vivienda. Se realiza una valoración con respecto a la importancia que tienen las mismas como punto de partida para lograr una arquitectura más confortable, más eficiente desde el punto de vista energético y más sustentable. Se concluye que las estrategias pasivas no influyen sustancialmente de manera numérica en el IPE el cual determina la etiqueta de eficiencia energética de unidades residenciales en Argentina.

Palabras clave

arquitectura bioclimática, vivienda, renovación arquitectónica

ABSTRACT

This work proposes making a comparative analysis between the Energy Supply Index (IPE, in Spanish), defined by the National Housing Labeling Program based on the IRAM 11900 Standard, and the Passive Architectural Design Strategies (EPDA, in Spanish) defined in said standard. The comparison is applied to energy retrofit solutions for the evaluation of the improvements in Energy Efficiency (EE) in a dwelling in San Miguel de Tucumán, Argentina. Its goal is to evaluate the incidence of EPDAs on the IPE value of the dwelling. An assessment is made regarding their importance as a starting point for achieving a more comfortable, more energy efficient and sustainable architecture. It is concluded that passive strategies do not have a numerically substantial influence on the IPE, that determines the energy efficiency label of residential units in Argentina.

Keywords

bioclimatic architecture, house, architectural renovation

INTRODUCCIÓN

La reducción del impacto ambiental es una preocupación mundial que ha despertado el compromiso de muchos gobiernos para direccionar sus leyes en función del desarrollo sostenible (Aragón, de Olivera Pamplona y Medina, 2012). La problemática ambiental global conduce a que numerosos países incorporen políticas de Eficiencia Energética (EE) con el fin de disminuir el consumo de energía, aspecto que puede observarse en medidas como etiquetados o pasaportes de EE (Alonso-Frank y Kuchen, 2017). El sector residencial consume a nivel global una cantidad significativa de energía, por tal motivo resulta fundamental desarrollar e implementar sistemas arquitectónicos bioclimáticos que contribuyan a la disminución del consumo energético (Manzano, Montoya, Sabio-Ortega, y García-Cruz, 2015). Se trata, asimismo, de reducir el consumo sin afectar el confort térmico edilicio. En Argentina, para contribuir a lograr la meta nacional de ahorro energético, es esencial la implementación de medidas de EE en el sector residencial, ya que este representa el 27% del consumo total del país. Además, este sector puede ser abordado desde múltiples enfoques, lo que le otorga un gran potencial de mejora (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2017).

Los esquemas de certificación energética para edificios surgieron a principios de la década de 1990 como método esencial para mejorar la EE, minimizando el consumo de energía y permitiendo mayor transparencia con respecto al uso de energía en edificios (Pérez-Lombard, Ortiz, González y Maes, 2009). Dichas certificaciones juegan un papel importante en la mejora de la EE, ya que permiten valorar y comparar diferentes edificios y sus características en lo relativo a demanda y consumo energético (López-Asiain, García, Fernández y de Tejada Alonso, 2020). Las clasificaciones de energía surgieron también como herramientas para minimizar el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero y promover una mayor transparencia con respecto al uso de energía en los edificios (Reus-Netto, Mercader-Moyano y Czajkowski, 2019).

En Argentina, el primer antecedente de aval legal en la aplicación de normativas relativas a EE, es la Ley Provincial de Buenos Aires n° 13.059/03 (2003) y su Decreto reglamentario 1030/10 (2010). Dicha ley establece la exigencia, para toda construcción nueva tramitada en la provincia, de incluir verificaciones de los niveles de desempeño higrotérmico estipulados por normas IRAM de la serie 11600. De escasa aplicación, los principales problemas de esta ley fueron las variadas exigencias constructivas, la autonomía de las municipalidades y el sistema descentralizado de control e inspección (Chevez, Martini y Discoli, 2016).

En el año 2007, se crea el "Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía" (PRONUREE), Decreto 140/2007, cuyo objetivo fue propender a un uso eficiente

de la energía, lo que implicó una adecuación de los sistemas de producción, transporte, distribución, almacenamiento y consumo de energía, buscando conseguir el mayor desarrollo sostenible con los medios tecnológicos disponibles para aminorar el impacto ambiental y optimizar la conservación de energía, percibiendo así una reducción de costos (Ministerio de Energía y Minería [MINEM], s.f.).

En el año 2009, aparece la primera edición la norma IRAM 11900: "Etiqueta de Eficiencia Energética de calefacción para edificios". La norma establecía ocho niveles de eficiencia térmica de la envolvente siguiendo el formato de las etiquetas de EE de los electrodomésticos. Proponía una metodología simplificada para el cálculo del nivel de EE de las envolventes de los edificios susceptibles de ser calefaccionados (IRAM, 2009).

A posteriori se desarrollan otros antecedentes legales, como la Ley N° 3246 (2009): "Consumo de la Energía - Reducción y Optimización", del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires; la Ordenanza 8757 de la Municipalidad de Rosario (2011): "Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética de las Construcciones"; y la Ley 4458 (2012): "Normas de acondicionamiento térmico en la construcción de edificios", de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En 2017 se realizó una nueva versión de la norma IRAM 11900, la cual establece el cálculo de las prestaciones energéticas para inmuebles de uso residencial, integrando mayor cantidad de variables con respecto a su primera versión: calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación interior y energías renovables. La principal diferencia con respecto a su anterior edición es que esta contempla estrategias de EE tanto pasivas como activas.

Un año antes, por medio de un Acta Acuerdo firmada entre el Ministerio de Minería y Energía de la Nación (Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética), el Gobierno de la Provincia de Santa Fe (Secretaría de Estado de Energía), la Municipalidad de la Ciudad de Rosario y los Colegios Profesionales de la Provincia de Santa Fe (Ingeniería Civil, Ingenieros Especialistas, Arquitectos, y Maestros Mayores de Obra y Técnicos), deciden cooperar en políticas públicas de EE en usos finales. Este documento da lugar, entre otros objetivos, a la realización de una prueba piloto de certificación de EE en inmuebles destinados a vivienda, durante el año 2017 en la ciudad de Rosario (Acta Acuerdo, 2016).

Para implementar la primera prueba piloto, se capacitó a profesionales en un proceso de certificación, para luego evaluar viviendas ya construidas. En agosto de 2018, se efectuó una segunda prueba en la ciudad de Santa Fe. A partir de ambas experiencias y de un convenio celebrado con la Secretaría de Energía de la Nación, el modelo se expandió a otras ciudades del país, con el fin de ajustar el procedimiento de cálculo y el aplicativo informático a partir de las diferentes zonas bioclimáticas y las distintas

técnicas constructivas. Las pruebas se llevaron a cabo en las ciudades de San Carlos de Bariloche, Mendoza-Godoy Cruz y San Miguel de Tucumán. En 2019 llega también a la ciudad de Salta (Gobierno de Santa Fe, 2020).

Con el propósito de introducir la etiqueta de EE en el país, en el año 2018 surge el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, basado en la Norma IRAM 11900. Se trata de obtener una estimación del consumo de energía primaria en hogares residenciales ya construidos, para satisfacer las demandas generadas por requerimientos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación, durante un año típico. De esta manera, los individuos podrán conocer el nivel de EE de una vivienda, volviéndose esta nueva herramienta una pieza muy importante de decisión a la hora de comprar, alquilar o construir un inmueble destinado a vivienda. Cabe destacar que se constituye igualmente como instrumento útil para evaluar un nuevo proyecto o plantear reformas en uno existente.

La Ley 13903 (2019) "Etiquetado de eficiencia energética de inmuebles destinados a vivienda" sancionada por la Legislatura de la Provincia de Santa Fe en noviembre de 2019, es el principal marco legal y antecedente a nivel nacional, que consolida una política específica de EE. Dicha ley reglamenta la aplicación del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) y el Etiquetado Energético de inmuebles destinados a viviendas, crea un Registro de Etiquetas, un Registro de Certificadores y una Comisión con carácter de órgano asesor, e incluso determina bonificaciones para su implementación. A la fecha, aún se espera la adhesión a la Ley de Comunas o Municipios, y tanto la norma IRAM 11900 (2017) como el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas no tienen una implementación de carácter obligatorio en el territorio nacional, constituyéndose sólo como una herramienta para profesionales y usuarios.

El objetivo del presente trabajo es comparar el IPE, definido por el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, con las Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico (EPDA), establecidas en la primera modificación a la norma IRAM 11900 (2019), para evaluar la incidencia de dichas estrategias en el valor del IPE de una vivienda.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en la investigación aquí expuesta corresponde a un análisis normativo y al estudio de un caso. En una primera instancia, se realiza un análisis normativo completo de IRAM 11900:2017 y de su modificación llevada a cabo en 2019. Se estudia la etiqueta de EE y la ponderación EPDA (estas últimas planteadas en la primera modificación). Luego, se analiza el aplicativo web desarrollado por la Secretaría de Energía para la obtención de una etiqueta de EE que determina la "Clase de Eficiencia Energética", lo cual da como resultado un valor característico IPE expresado en kWh/m²año.

Se examina la incidencia de las estrategias de diseño pasivo y activo en el valor IPE y se procede a comparar las variables pasivas que inciden en EPDA y en IPE. Por último, se analizan ambas variables (IPE y EPDA) a partir de un caso de estudio. De ello, se obtiene el valor IPE y, por ende, la Clase de EE a través del aplicativo web. Por otra parte, se efectúa la ponderación EPDA mediante el calculador EBioDA (Fernández y Garzón, 2019) para una mejor comprensión de los resultados. A continuación, se desarrolla una propuesta de rehabilitación energética a partir de estrategias pasivas y se calculan nuevamente, por medio de la misma metodología, los valores recién citados. Para terminar, se procede a comparar la mejora porcentual de IPE y EPDA a partir de las mejoras realizadas.

ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE EVALUACIÓN DE EE EN VIVIENDAS

SOBRE LA NORMA IRAM 11900:2017

En diciembre de 2017, fue publicada la nueva edición de la norma IRAM 11900 "Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo". Este documento, elaborado por especialistas y sectores profesionales que forman parte del Subcomité de eficiencia energética en edificios, establece un cambio de paradigma en lo que respecta a la evaluación de la EE (IRAM, 2017). En ella se fijan las bases para el etiquetado en viviendas. En enero de 2019, se introdujo una modificación en la norma, la cual quedó definida como: "Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética".

Allí se precisa un método de cálculo para determinar la prestación energética de unidades residenciales, donde la noción de "prestaciones energéticas" se refiere al uso final de energía convencional que contribuye a la demanda energética de la vivienda mediante los siguientes servicios: calefacción, refrigeración, iluminación artificial interior y calentamiento de agua sanitaria. Se mencionan las estrategias bioambientales de diseño como una manera efectiva de contribuir a la EE, encontrándose expuestas en primer lugar al momento de enunciar el cálculo de las prestaciones energéticas, de la siguiente manera:

Los recursos pasivos de diseño, incorporados en el proyecto arquitectónico y la composición de elementos constructivos, contribuyen de manera efectiva a la eficiencia energética de las viviendas y a la reducción de la demanda de energía a través de distintos mecanismos, tales como: la disminución de la demanda de energía requerida para calefacción, a través de: la conservación de calor en épocas de bajas temperaturas con aislación térmica, la forma y el diseño compacto y el control de la renovación de aire; la captación de la radiación solar en épocas cuando su contribución a la calefacción es favorable; el control del ingreso de radiación solar en el período estival mediante, la aislación térmica, los techos de color claro y la protección solar en superficies vidriadas; la incorporación de refrescamiento natural con ventilación cruzada y selectiva. En este contexto, las estrategias bioambientales y los recursos pasivos de diseño, conjuntamente con los

aportes de las instalaciones eficientes y la contribución adicional de energías renovables integradas al proyecto, contribuyen a mejorar la eficiencia energética de la vivienda (IRAM, 2017, p.11).

Se puede observar que IRAM considera primordial la contemplación de las estrategias pasivas de diseño.

Inmediatamente después de las estrategias bioambientales, se menciona el requerimiento específico de energía primaria de climatización (calefacción y refrigeración), el que comprende el cálculo para la evaluación térmica y evaluación de la EE para climatización. En tercer lugar, se encuentra el cálculo de agua caliente sanitaria cuyo objetivo es caracterizar los sistemas empleados y determinar su eficiencia; en cuarto, la iluminación artificial interior; y, por último, el aporte por el uso de energías renovables, donde solo se contempla la energía solar: solar térmica, para el calentamiento de agua, y fotovoltaica, para la producción de electricidad.

A partir del resultado de los cálculos antes mencionados quedan definidas las prestaciones energéticas totales de la vivienda, como la diferencia entre el requerimiento específico de energía primaria (demanda anual de energía para climatización, calentamiento de agua e iluminación) y las contribuciones de energía generada por fuentes renovables.

ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE IRAM 11900

La etiqueta de EE se obtiene como resultado del cálculo de las prestaciones energéticas (PE) de la vivienda. Las variables que se consideran en la etiqueta son: requerimiento específico anual de energía primaria para climatización (EP_c), requerimiento específico anual de energía primaria para ACS ($EP_{A.C.S.}$), requerimiento específico anual de energía primaria para iluminación (EP_{il}), contribución de energía renovable (EP_{REN}) y valoración de nivel de Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico (EPDA).

La clase de EE queda categorizada de la "A" a la "G". Esta se determina a partir del valor numérico PE en KWh/m^2 , el cual contempla en su cálculo: contribución de energías renovables, en Kwh; requerimiento de energía primaria para la climatización, en Kwh; requerimiento de energía primaria para la producción de ACS, en Kwh; y requerimiento de energía primaria para iluminación interior, en Kwh.

Si bien la norma prioriza la ponderación de estrategias pasivas EPDA, éstas no inciden en el resultado de la etiqueta. Cabe destacar que en la norma se mencionan las estrategias pasivas en primer lugar, y en el diseño de la etiqueta quedan relegadas al final.

ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO (EPDA) DE IRAM 11900

Se definen a las EPDA como: "Características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecuan

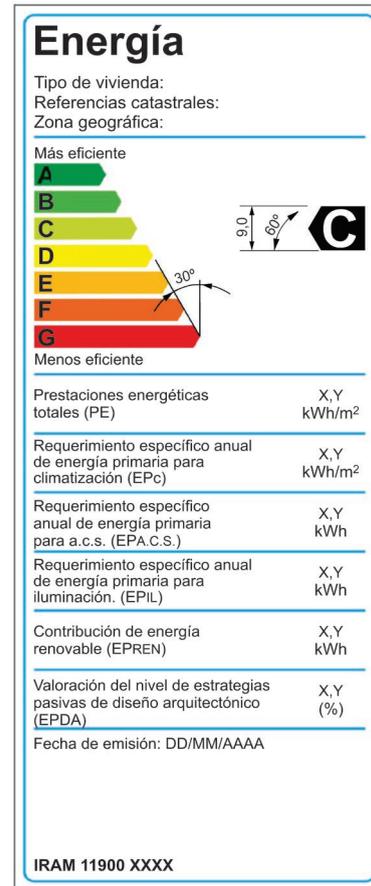


Figura 1. Modelo de Etiqueta de EE.
 Fuente: Modificación n° 1 a la norma IRAM 11900: 2017.

el edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y permiten mejorar la sensación de confort higrotérmico y reducir la demanda de energía convencional" (IRAM, 2019, p. 2). Las EPDA posibles de evaluar son: aislación térmica; inercia térmica; protección solar; ventilación natural; captación solar; humidificación; y entorno. La ponderación de la relevancia de las estrategias bioclimáticas depende del clima de la región donde se emplaza el edificio.

Para determinar la ponderación de las EPDA, se identifican una serie de parámetros característicos, denominados recursos arquitectónico-constructivos (RAC), que reducen la demanda de energía y optimizan el confort higrotérmico mediante el acondicionamiento natural del edificio en los períodos de verano e invierno (IRAM, 2019). La relevancia de cada RAC varía en función de la caracterización climática de la zona analizada. Por ejemplo, para el recurso "Aislación térmica del piso" en un clima cálido, el puntaje es uno (1) para cualquier tipo de solución constructiva, mientras que para un clima frío, este puntaje varía desde cero (0), piso sin aislación, hasta uno (1), piso con aislación térmica total. Los RAC considerados son: aislación térmica del techo, aislación térmica de muros exteriores, aislación térmica de ventanas, aislación térmica del piso, inercia térmica del techo, inercia térmica de muros exteriores, inercia térmica del piso, color externo del techo, color externo de muros,

sombreado de ventanas, sistemas solares pasivos directos, sistemas solares pasivos indirectos, altura piso-techo, contacto con otras viviendas, obstáculos exteriores, sol verano, forma compacta, proporción de ventana en muros, ventilación cruzada, ventilación selectiva, suelo exterior vegetación, obstáculos contra viento, superficie ventana en techo y nivel de hermeticidad.

El equipo de trabajo GHabSS (Grupo Hábitat Sustentable y Saludable) de la FAU-UNT desarrolló un calculador C-EBioDA (Fernández y Garzón, 2019), para simplificar y sistematizar la obtención de la ponderación de estrategias pasivas para la ciudad de San Miguel de Tucumán. Este lleva a cabo una sencilla sistematización, a través de una planilla de cálculo, de todas las variables cualitativas con sus correspondientes valores que inciden en la ponderación EPDA. Para su ejecución, las únicas variables a seleccionar son las calidades de los elementos constructivos para cada RAC. Gracias a este proceso se obtiene como resultado el puntaje de dicho recurso. Las ventajas de su uso son la simplificación del proceso de cálculo y la reducción de posibles errores por la cantidad de valores numéricos involucrados. Empleando dicho calculador, también es posible calcular, a partir del porcentaje total de EPDA, la incidencia porcentual de cada estrategia pasiva; de manera que se consigue una visualización rápida que permite definir estrategias de mejora.

SOBRE EL APLICATIVO INFORMÁTICO NACIONAL

El aplicativo informático nacional es una herramienta *on line*, basada en la norma IRAM 11900, diseñada para realizar la evaluación de EE en una vivienda en cualquier lugar del país a partir de un relevamiento de esta y obtener la Etiqueta correspondiente, conforme a los lineamientos establecidos a nivel nacional. Asimismo, contribuye a formular recomendaciones de mejora y cuantificar el impacto de estas en términos de potenciales ahorros (Ministerio de Desarrollo Productivo, s.f.). Este aplicativo clasifica la EE a la vivienda en siete categorías.

Para validar el aplicativo y llevar a cabo ajustes que garanticen su correcta adaptación a todo el territorio nacional, contemplando las particularidades climáticas, socioeconómicas y de las prácticas constructivas, se efectuaron pruebas en localidades de diferentes provincias y regiones del país. Se ejecutó a modo de prueba piloto la certificación de 1410 viviendas (Ministerio de Desarrollo Productivo, s.f.), a fin de ponderar los valores actuales y, a partir de ello, definir los distintos rangos de la etiqueta. Sin embargo, el aplicativo aún no está disponible para todas las localidades del país.

ÍNDICE DE PRESTACIONES ENERGÉTICAS (IPE)

El IPE es un valor característico del inmueble, expresado en kWh/m²año. Representa el requerimiento teórico de energía primaria para satisfacer las necesidades de calefacción en

invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso (Ministerio de Desarrollo Productivo, s.f.).

En el valor IPE inciden distintas variables de diseño. Ellas son: orientaciones, materialización de la envolvente, características de las aberturas, terminación de superficies exteriores e interiores, altura piso-techo, elementos de sombreado, artefactos de iluminación y tipo de accionamiento, características de los equipos de climatización, sistema de calentamiento de agua, uso de energía fotovoltaica y calentamiento de agua con energía solar.

Estas variables, pensadas como estrategias para el ahorro energético, pueden clasificarse en activas y pasivas. Las pasivas son aquellas que deben implementarse en primera instancia para reducir las demandas energéticas (Martín-Consuegra, Oteiza, Alonso, Cuervo-Vilches y Frutos, 2014). Existen estudios que demuestran que la aplicación de estrategias pasivas disminuyen considerablemente el consumo de energía de un edificio construido (Aguilera, Viñas, Rodríguez y Varela, 2018). Es importante destacar que dicha reducción es independiente de la fuente de energía empleada.

En la Tabla 1, se puede observar la clasificación de las variables incidentes en el valor característico IPE.

Variables incidentes	Estrategia Pasiva	Estrategia Activa
Composición de la envolvente	•	
Características de las aberturas	•	
Orientaciones	•	
Terminación de superficies exteriores	•	
Terminación de superficies interiores	•	
Altura piso- techo	•	
Protecciones solares	•	
Artefactos de iluminación		•
Tipo de accionamiento de artefactos de iluminación		•
Características de los equipos de refrigeración		•
Características de los equipos de calefacción		•
Sistema de ACS		•
Uso de energía fotovoltaica		•
Calentamiento de agua con energía solar		•

Tabla 1. Clasificación de las variables incidentes en IPE.
 Fuente: Elaboración de los autores.

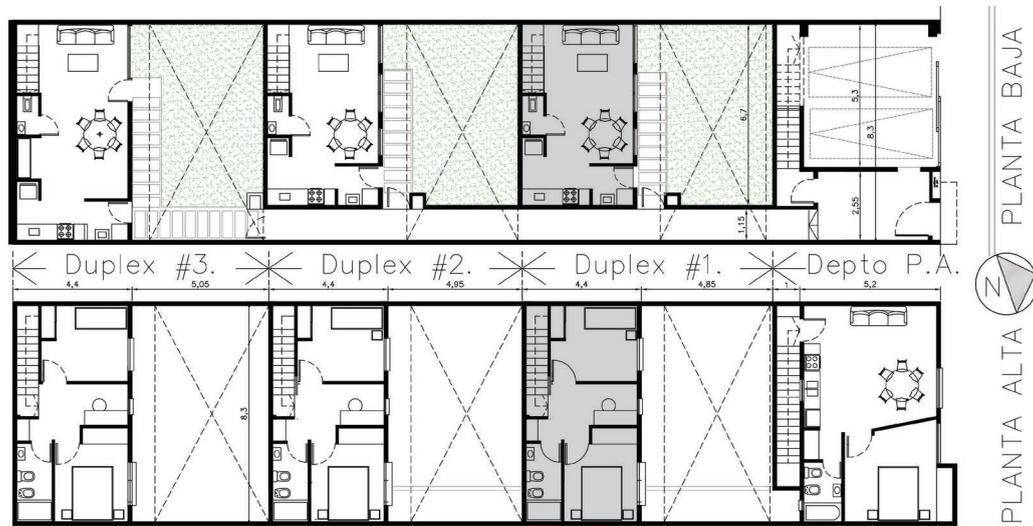


Figura 2. Planta baja y alta del PH.
 Fuente: Elsinger y Garzón (2019, p. 250)

COMPARACIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO PASIVO EN IPE Y EPDA

Tanto para el valor característico IPE como para la valoración EPDA inciden diversas variables de diseño pasivo, ya que en EPDA no se consideran las activas. A continuación (Tabla 2), se enumeran todas estas variables y se indica si están contempladas en cada valor.

De acuerdo a la Tabla 2, se advierte que existen variables pasivas no contempladas en el IPE, como también que la variable "Color de las superficies interiores", en cuanto estrategia pasiva para el ahorro de energía de iluminación, está contemplada en el IPE y no en EPDA.

ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LAS VARIABLES PASIVAS A PARTIR DE UN CASO DE ESTUDIO

Para analizar la correlación de ambas variables (IPE y EPDA), se toma un caso de estudio como ejemplo de aplicación. El caso se ubica en la Ciudad de San Miguel de Tucumán, provincia de Tucumán, al noroeste del país. Se localiza específicamente en la zona bioclimática IIb, donde el verano es la estación crítica, con temperaturas medias superiores a los 24°C, máximas por encima de los 30°C y amplitudes menores a 14°C. El invierno es más seco y presenta bajas amplitudes y temperaturas medias comprendidas entre 8°C y 12°C (IRAM, 2012). El estudio se aplica a una vivienda unifamiliar, cuyas prestaciones energéticas habían sido analizadas previamente para generar una propuesta de rehabilitación térmico-energética, que fue publicada en ASADES 2019 por el Arq. David Elsinger y la Dra. Beatriz Garzón.

DESCRIPCIÓN DEL CASO

La vivienda forma parte de una propiedad horizontal. La propiedad está constituida por tres unidades tipo "dúplex" desarrolladas en dos niveles y una unidad en planta

Variable	EPDA	IPE
Aislación térmica de la envolvente	Contemplada	Contemplada
Inercia térmica de la envolvente	Contemplada	Contemplada
Color de las superficies exteriores	Contemplada	Contemplada
Color de las superficies interiores	No contemplada	Contemplada
Protecciones solares	Contemplada	Contemplada
Ventilación natural	Contemplada	No contemplada
Humidificación	Contemplada	No contemplada
Captación solar	Contemplada	No contemplada
Entorno	Contemplada	No contemplada

Tabla 2. Estrategias pasivas presentes en IPE y/o en EPDA.
 Fuente: Elaboración de los autores.

alta (Figura 2). Además, posee un acceso común, una servidumbre de paso para llegar a todas las unidades y un garaje para dos vehículos. Se ubica en disposición nortesur, con la totalidad de sus aberturas dispuestas hacia el norte (Figura 3).

La construcción existente fue realizada luego de la demolición de una vivienda, por lo tanto, se reciclaron las medianeras (Este y Oeste) existentes resueltas en mampostería de 30 cm de espesor de ladrillo macizo común con al menos una cara revocada (cara interior). El resto de la envolvente vertical se resolvió en mampostería de 20 cm de ladrillos cerámicos huecos (18x18x33 cm) con ambas

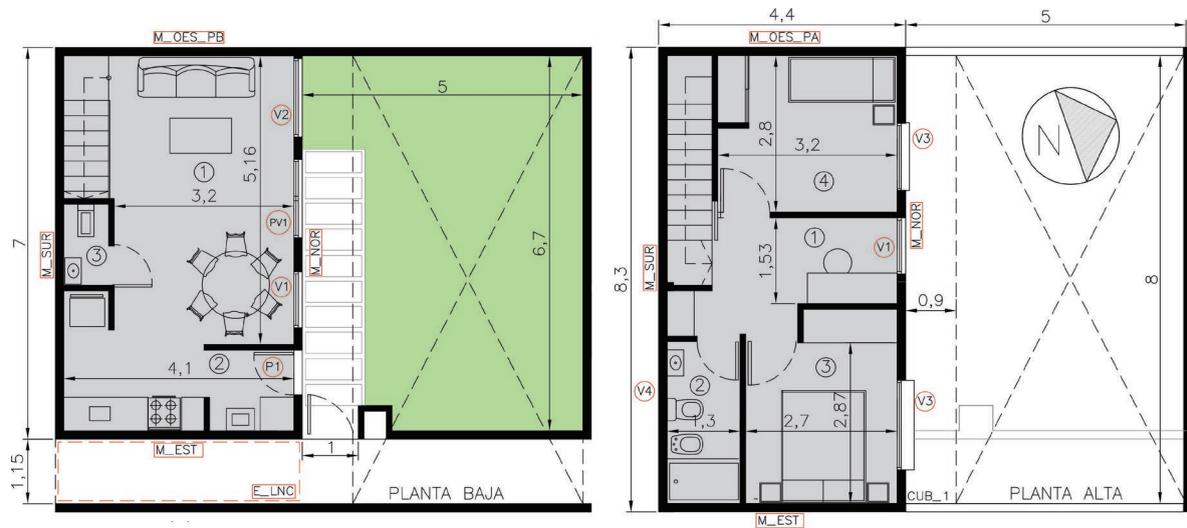


Figura 3. Planta baja y alta de la unidad de estudio.
 Fuente: Elsinger y Garzón (2019, p. 251)

caras revocadas. La edificación posee una estructura de hormigón armado independiente y una cubierta de chapa sinusoidal calibre 24, con estructura de perfiles metálicos "C" y 5 cm de lana de vidrio colocada en contacto con las chapas. La cubierta se conforma en un único faldón con pendiente hacia el norte, que posee un voladizo de 0.90 m hacia el patio interno de cada una de las propiedades. Las divisiones interiores están resueltas con diversas técnicas: mampostería de 15 cm de ladrillo común en planta baja, mampostería de 8 cm de bloques huecos y también tabiques de placa de yeso cartón con estructura de perfiles metálicos de chapa galvanizada de 10 cm de espesor en planta alta. Ambas plantas poseen pisos y zócalos cerámicos. Las superficies interiores tienen revoque fino más pinturas en colores claros y los cielorrasos son de yeso aplicados sobre losa en planta baja y suspendido sobre perfiles de chapa galvanizada y cierres de placas roca-yeso en planta alta. Las superficies verticales exteriores poseen un revoque grueso con terminación "salpicado", que posee color propio, en este caso similar "beige claro" (Elsinger y Garzón, 2019).

PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

La propuesta de rehabilitación contempla las siguientes medidas:

- Incremento en la aislación térmica de la envolvente (Tabla 3).
- Reducción de superficie vidriada para disminuir la captación solar. Para esto, se anula una de las ventanas de planta baja orientada hacia el norte (Figura 3: V1-Planta Baja).
- Generación de ventilación cruzada. Esto se logra a partir de la apertura de dos ventiluces en la cara sur del edificio: uno en planta baja y otro en primer piso.

Elemento de la envolvente	Situación original	Propuesta de rehabilitación
Carpinterías	Corredizas con vidrio incoloro 3 mm	De abrir con DVH
M_Nor	Ladrillo cerámico hueco revocado en ambas caras (20 cm)	Incorporación de aislante en la cara exterior: 7 cm de poliestireno expandido + placa cementicia
M_Sur		
M_Est_PB		
M_Est_PA	Ladrillo cerámico macizo revocado en la cara interior (30 cm)	Incorporación de aislante en la cara interior (por ser medianeros): 5 cm de lana de vidrio + placa de roca-yeso de 12 mm
M_Oest		
Techo	Chapa galvanizada sinusoidal + 5 cm de lana de vidrio + cielorraso de roca-yeso 8 mm	Incorporación de 5cm más de lana de vidrio (esta se coloca desde la cara exterior desmontando las chapas de la cubierta)
E_LNC	Losa de viguetas pretensadas con bovedillas de poliestireno expandido (17cm)	Incorporación en la cara inferior de 5 cm de lana de vidrio + placa de roca-yeso

Tabla 3. propuestas de aislación térmica en la envolvente.
 Fuente: Elaboración de los autores.

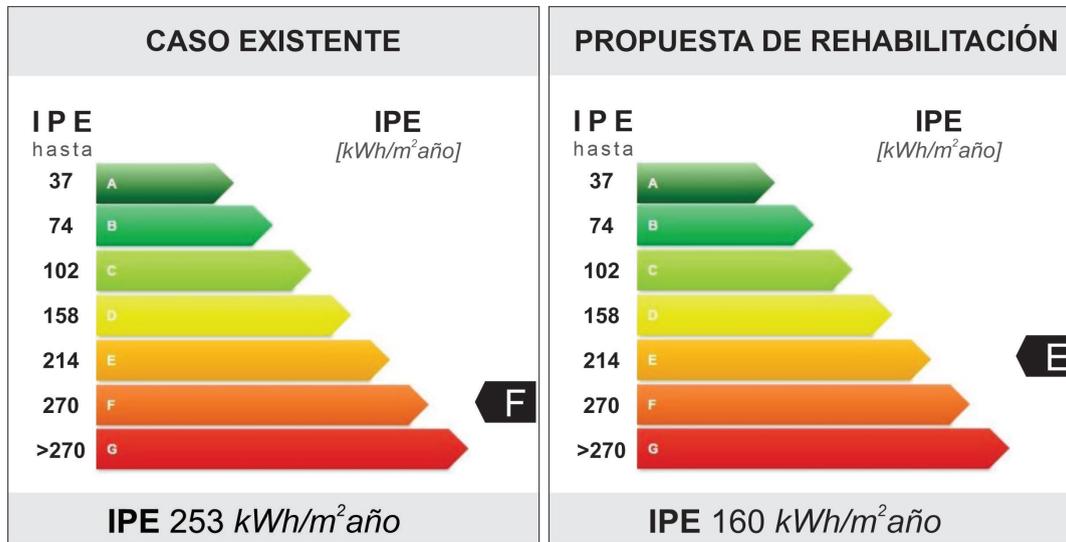


Figura 4. Valor IPE para caso existente y propuesta de rehabilitación.
 Fuente: Elaboración de los autores

EBioDA <		EBioDA >>	
% EPDA	23.76 %	% EPDA	48.69 %
Aislación térmica	28.75 %	Aislación térmica	83.75 %
Inercia térmica	24.90 %	Inercia térmica	24.90 %
Protección solar	30.70 %	Protección solar	30.70 %
Ventilación natural	5.00 %	Ventilación natural	32.50 %
Captación solar	17.20 %	Captación solar	32.20 %
Humidificación	0.00 %	Humidificación	0.00 %
Entorno	35.00 %	Entorno	35.00 %

Figura 5. Determinación de % EPDA a partir del calculador EBioDA.
 Fuente: Elaboración de los autores

COMPARACIÓN DE RESULTADOS IPE Y VALORACIÓN EPDA PARA AMBOS CASOS

Se calcula el valor IPE a través del aplicativo web. Los resultados que se obtienen son los siguientes: para la situación existente, 253 kWh/m²año, y para la propuesta de rehabilitación, un total de 160 kWh/m²año. Con ello, el prototipo original queda en la clasificación "F" y la propuesta de rehabilitación, en la "E".

Posteriormente, se realiza la valoración EPDA en ambos casos, empleando como herramienta el calculador C-EBioDA (Fernández y Garzón, 2019). Los valores porcentuales obtenidos son de 23,76%, para el caso original, y 48,69%, para la propuesta de rehabilitación.

Se puede apreciar (Figura 5) que las mejoras sustanciales se dan en la aislación térmica (de 28,75% a 83,75%), en la ventilación natural (de 5% a 32%) y en la captación solar (de 17% a 32%). Esto se debe a las estrategias de

rehabilitación implementadas. En aislación, se optimiza el comportamiento de la envolvente en su totalidad (muros, techo y ventanas). La ventilación natural se logra incorporando ventiluces en el muro sur, lo cual favorece la ventilación cruzada en casi toda la vivienda. Por último, se disminuye la captación solar, al reducir la superficie vidriada, eliminando una ventana orientada hacia el norte.

Al comparar ambos valores, se observa que, en cuanto a la valoración de estrategias pasivas, el caso analizado mejora en un 52,1%, mientras que, en términos del IPE, solo lo hace en un 36,6%. En consecuencia, las optimizaciones en las estrategias pasivas no implican una mejora -en el mismo grado-, en las prestaciones energéticas de la vivienda.

DISCUSIÓN

Es fundamental considerar que cualquier intervención en una vivienda genera incrementos en el confort térmico, lo

que suscita un amplio margen de actuación (Fernández, Rubio y Guevara, 2019). La rehabilitación energética de viviendas está orientada a mejorar las condiciones edilicias de acuerdo con las posibilidades económicas del usuario, las características del edificio y otras posibles limitaciones (Pérez Fargallo, Calama Rodríguez y Flores Alés, 2016). El compromiso de invertir en la rehabilitación de viviendas como una mejora de la EE del sector residencial, no debe recaer en las buenas intenciones del usuario sino que debe estar acompañado por políticas de ayudas públicas reales y de cuantía proporcional al coste exigido para que el proceso de modernización térmica-energética de edificios sea sostenible y no se transforme en un problema social (Lizundia, Etxepare, Sagarna y Uranga, 2018)

La propuesta de rehabilitación energética aquí expuesta es factible desde el punto de vista tecnológico y socioeconómico local. Se encuentran, no obstante, limitaciones diversas, entre ellas: la disposición del edificio en el terreno (entre medianeras); la falta de materiales y/o productos específicos del mercado local (aislantes térmicos, carpinterías de altas prestaciones, etc.); y limitaciones tecnológicas, propias de los conocimientos de la práctica constructiva local.

Por otro lado, las conclusiones preliminares obtenidas apuntan a reforzar la baja incidencia de las estrategias pasivas en la etiqueta de EE edilicia. Dado que, en este caso, sólo se han analizado las variaciones producidas por dichas estrategias, sería relevante analizar también la incidencia las estrategias activas en la etiqueta energética con el fin de llevar a cabo una ponderación más adecuada.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de la norma IRAM 11900:2017, como así también del aplicativo web para el etiquetado energético, que permitió evaluar principalmente la ponderación de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico, y tras el posterior análisis de un caso de estudio y su consiguiente propuesta de rehabilitación energética basada en estrategias pasivas, se verifica que, si bien este tipo de intervenciones tienen incidencia, no revisten primordial importancia.

El Programa de Etiquetado de Viviendas constituye, sin duda alguna, una auténtica política nacional para hacer frente a las condiciones energéticas del mundo contemporáneo. En camino a una implementación del Programa de Etiquetado de Viviendas en toda la Argentina (Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, s.f.), se hace necesario revisar las formas en que se ponderan los datos que sirven para obtener el IPE, para obtener un etiquetador que se adecue a las diferentes realidades socioeconómicas del país.

El IPE determina la etiqueta de EE de unidades residenciales en Argentina. Aun cuando su implementación no es de

carácter obligatorio, se espera que sea de interés colectivo, ya que, al estar reconocida por el mercado inmobiliario, se constituye como un valor agregado para la compraventa, alquiler o construcción de un inmueble destinado a vivienda, en relación con su grado de eficiencia.

Por otra parte, resulta valorable considerar que la mejora de la aislación térmica de la envolvente implica mejoras en el valor IPE, pero esta es la única medida pasiva que conduce a dicho objetivo, dejando de lado otras variables. Sería muy positivo, entonces, que la consideración de las estrategias pasivas tuviera un rol más significativo, a modo de generar conciencia y un mayor conocimiento acerca del bioclimatismo.

Es sumamente cuestionable el hecho de que se contemplen como estrategias de mejoras aquellas que implican costos energéticos de producción y generan residuos importantes (como el cambio de los equipos de climatización o luminarias). La posibilidad de alcanzar los más altos estándares, fundamentales para garantizar un hábitat sano y energéticamente eficiente, es factible a través del diseño pasivo que asegura notables mejoras en el confort natural y en la reducción del uso de energía convencional. Por lo tanto, se requiere el uso de una herramienta que pondere favorablemente las estrategias pasivas y no conlleve a la incorporación de equipos de climatización, equipos de generación de energías renovables u otros sistemas activos, solo para alcanzar una mejor etiqueta.

Por lo expresado, y entendiendo la Etiqueta Energética como una herramienta para plantear procesos de reformas de viviendas, el estudio realizado termina planteándose las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son las incidencias finales de las estrategias pasivas y activas en la Etiqueta Energética? ¿Es necesario revisar dichas incidencias a fin de adaptar la Etiqueta a la diversidad de contextos socioeconómicos- tecnológicos locales de la República Argentina?

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, se agradece al CONICET (Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Argentina) y a la FAU-UNT (Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán), por el fomento a investigadores vinculados a este trabajo. En segundo lugar, se agradece al Dr. Ernesto Kuchen por compartir el conocimiento y fomentar el pensamiento crítico y reflexivo, que dio lugar a esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acta Acuerdo de 2016. (2016). Cooperación en Políticas Públicas de Eficiencia Energética en usos finales. Ministerio de Minería y Energía de la Nación, Gobierno de la Provincia de Santa Fe, Municipalidad de la Ciudad de Rosario y Colegios Profesionales

de la Provincia de Santa Fe. 27 de octubre de 2016. Recuperado de https://www.santafe.gob.ar/ms/eficienciaenergetica/wp-content/uploads/sites/25/2018/12/2016-10-27_ACTA-ACUERDO-MINEM-SEE-MR-COLEGIOS.pdf

Aguilera, P., Viñas, C., Rodríguez, A. y Varela, S. (2018). Análisis de la influencia, en la demanda de climatización, de estrategias pasivas en viviendas con grandes superficies acristaladas, mediante un código de simulación. La casa Farnsworth. *Anales de Edificación*, 4(3), 34-43. <http://dx.doi.org/10.20868/ade.2018.3798>

Alonso-Frank, A. y Kuchen, E. (2017). Validación de la herramienta metodológica de Alonso-Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan – Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*. 7(1), 6-13. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2740>

Aragón, C. S., De Olivera Pamplona, E., y Medina, J. R. V. (2012). La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: una aplicación para la identificación de inversiones de en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo. *Revista Digital del Instituto Internacional de Costos*, (1), 48-73. Recuperado de http://www.revistaic.org/articulos/numesp/articulo3_esp.pdf

Chevez, P., Martini, I. y Discoli, C. (2016). Avances en la construcción de escenarios energéticos urbanos del sector residencial a partir del análisis detallado de medidas de eficiencia energética de la República Argentina. *Congresso Brasileiro de Planejamento Energético XCBPE*. Gramado – RS. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/55713/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Decreto 140/2007 (2007). Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía PRONUREE. Poder Ejecutivo Nacional (P.E.N.). Buenos Aires, Argentina. 24 de diciembre 2007. Recuperado de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/135000-139999/136078/norma.htm>

Elsinger, D. y Garzón B. (2019). Incidencia del rediseño de envolvente en la Etiqueta de Eficiencia Energética de una vivienda existente. *XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar*, San Salvador de Jujuy, Argentina, 11 al 14 de noviembre. Recuperado de <http://www.exporenovables.com.ar/2019/descargas/actas/tema1/2528.pdf>

Fernández, A. y Garzón, B. (2019). C-EBioDA: Calculador de Estrategias Bioclimáticas de Diseño Arquitectónico, según NORMA IRAM 11900. Obra inédita no musical inscripta en Dirección Nacional de Derechos del Autor (DNDA), expediente: EX-2019-89171618- -APN-DNDA#MJ. Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), octubre de 2019.

Fernández, P. X., Rubio, C. y Guevara, F. J. (2019). Rehabilitación energética de viviendas en España: confort térmico y efectividad. *Anales de Edificación*, 5(1), 37-50. <http://dx.doi.org/10.20868/ade.2019.3913>

Gobierno de Santa Fe (s.f.). Etiquetado de viviendas. Pruebas piloto. Recuperado de <https://www.santafe.gob.ar/ms/eficienciaenergetica/etiquetado-de-viviendas/pruebas-piloto/>

IRAM 11603 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Tercera edición.

IRAM 11900 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2009). Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.

IRAM 11900 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2017). Prestaciones energéticas en viviendas, Método de cálculo. Segunda edición.

IRAM 11900 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2019). Modificación N°1 a la Norma IRAM 11900:2017-12.

Ley 3246 (2009). Consumo de la Energía - Reducción y Optimización. Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 18 de enero de 2010. B.O. No 3342. Recuperado de <https://deuco.org.ar/pdf/3246-a.pdf>

Ley 4458 (2012). Normas de acondicionamiento térmico en la construcción de edificios. Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 30 de abril de 2012. B.O. No 4142. Recuperado de <http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley4458.html>

Ley 13059 (2003). Condiciones de acondicionamientos térmico exigibles en la construcción de edificios. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. 4 de julio de 2003. B.O. No. 24738. Recuperado de <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/ley/2003/13059/3792>

Ley 13903 (2019). Etiquetado de Eficiencia Energética de inmuebles destinados a vivienda. Gobierno de la Provincia de Santa Fe. 8 de noviembre de 2019. B.O. 21/11/2019. Recuperado de <https://www.santafe.gov.ar/normativa/item.php?id=213203&cod=d3275d4f218763e61a255605439155a8>

Lizundia, I., Etxepare, L., Sagarna, M. y Uranga, E. J. (2018). El coste de la obligatoria rehabilitación energética de la vivienda colectiva: ¿un problema social? *Informes de la Construcción*, 70(551), 269. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.59856>

López-Asiain, J., García, M. D. L. N. G., Fernández, C. M., y De Tejada Alonso, A. P. (2020). Influencia de la metodología para la certificación energética de edificios sobre los resultados en el indicador de agua caliente sanitaria. *Revista DYNA*, 95(3), 257-260. <http://dx.doi.org/10.6036/9578>

Manzano, F., Montoya, F.G., Sabio-Ortega, A. y García-Cruz, A. (2015). Review of Bioclimatic Architecture Strategies for Achieving Thermal Comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736–755. <https://doi.org/10.20868/ade.2019.3913>

Martín-Consuegra, F., Oteiza, I., Alonso, C., Cuerdo-Vilches, T. y Frutos, B. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. *Eduardo Torroja-CSIC. Informes de la Construcción*, 66(536), e043. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.125>

Ministerio de Energía y Minería (MINEM) (s.f.). Definición y objetivos. Presidencia de la nación. Recuperado de <https://www.minem.gob.ar/www/835/26087/definicion-y-objetivos>

Ministerio de Desarrollo Productivo (2017). Balance Energético Nacional (BEN) [Archivo Excel]. Argentina.gob.ar. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>

Ministerio de Desarrollo Productivo (s.f.). Etiquetado de Viviendas. Presidencia de la nación. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-edificaciones/etiquetado-de-viviendas>

Ordenanza 8757 (2011). Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética de las Construcciones. Reglamento de Edificación, modificación. Municipalidad de Rosario. 17 de mayo de 2011. B.O. No 189-2011. Recuperado de <https://www.rosario.gob.ar/normativa/ver/visualExterna.do?accion=verNormativa&idNormativa=75004>

Pérez Fargallo, A., Calama Rodríguez, J. M. y Flores Alés, V. (2016). Comparativa de resultados de rehabilitación energética para viviendas en función del grado de mejora. *Informes de la Construcción*, 68(541), 1-11. <https://doi.org/10.3989/ic.15.048>.

Pérez-Lombard, L, Ortiz, J. R, González, R. y Maes, I.R. (2009). A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy Build*, 41, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.10.004>

Reus-Netto, G., Mercader-Moyano, P. y Czajkowski, J. D. (2019). Methodological Approach for the Development of a Simplified Residential Building Energy Estimation in Temperate Climate. *Sustainability*, 11(15), 4040. <https://doi.org/10.3390/su11154040>





Recibido 12/03/2020
Aceptado 20/07/2020

VIVIENDA SUSTENTABLE: UNA DISCUSIÓN SOBRE EL MANEJO EFICIENTE DEL USO AGUA EN INSTALACIONES DOMICILIARIAS. CASO DE ESTUDIO: SANTA FE –ARGENTINA

SUSTAINABLE HOUSING: A DISCUSSION ON THE EFFICIENT
MANAGEMENT OF WATER USE IN DOMESTIC INSTALLATIONS.
CASE STUDY: SANTA FE –ARGENTINA

RODOLFO BELLOT

Arquitecto

Docente e Investigador, Profesor Titular,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad Nacional del Litoral

Santa Fe Argentina

<https://orcid.org/0000-0003-1929-7820>

rjbellot@fadu.unl.edu.ar

DIEGO FISCARELLI

Doctor en Arquitectura

Docente e investigador, Becario Posdoctoral-CONICET,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de La Plata

La Plata, Argentina

<https://orcid.org/0000-0002-7087-0816>

dfiscarelli@fau.unlp.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo busca exponer una reflexión crítica sobre la eficiencia en el manejo del recurso agua, en el marco del caso de estudio –Ciudad de Santa Fe, Santa Fe (Argentina). Ponderando el rol de las instalaciones sanitarias en la optimización del uso del agua como recurso fundamental, se propone, en términos metodológicos, un análisis en base a tres dimensiones: el sistema hídrico de la ciudad, la normativa vigente en materia de regulación de excedentes y el suministro de agua por red. Se recuperan las propias investigaciones precedentes para mensurar el consumo domiciliario típico, atendiendo a dos variables: uso racional del agua y consideración de tecnologías al servicio de la eficiencia. Como síntesis, se elaboran curvas de abatimiento para caracterizar la eficiencia en tres escenarios. Y, en el terreno de la discusión, se interpelean las responsabilidades de los usuarios y la praxis de los profesionales de la arquitectura, encargados de concebir la sustentabilidad de la vivienda urbana santafesina.

Palabras clave

vivienda, sustentabilidad, eficiencia, agua, curva de abatimiento.

ABSTRACT

This work aims to present a critical reflection about the efficiency of water resource management in the case study - City of Santa Fe, Santa Fe (Argentina). Analyzing the role of sanitary installations in optimizing water use as an essential resource. In methodological terms, a three-dimensional analysis is proposed: the city's water system, the current regulations for surplus management and the water network supply. The author's prior research projects are recovered to measure typical household consumption, considering two variables: rational water use and consideration of service efficiency technologies. In summary, abatement curves are made to characterize the efficiency in three scenarios. As a discussion, the responsibilities of users, and the praxis of architecture professionals, responsible for conceiving the sustainability of urban housing in Santa Fe, are questioned

Keywords

housing; sustainability; efficiency; water; abatement curve.

INTRODUCCIÓN

La arquitectura ha procurado a lo largo de la historia concebir un hábitat eficientemente acondicionado, tanto para seguridad como estancia en el desarrollo de actividades. Sin embargo, fue en el siglo pasado cuando estas preocupaciones alcanzaron una exponencial relevancia. En consecuencia, los pares dialécticos diseño/tecnología y proyecto/instalaciones consolidaron un entusiasmo científico-tecnológico en pro de la baja de emisiones, el diseño sustentable y el mejoramiento de las condiciones de eficiencia del hábitat

El “nuevo régimen”¹, caracterizado por el agotamiento de los recursos energéticos producto de la crisis de los combustibles fósiles en los años 70 -además del cambio climático resultante del alto nivel de emisiones-, obligó a la arquitectura a reflexionar sobre las prácticas proyectuales. Como sostiene Fernández Rojas (cit. en Delucchi 2016, p. 23), se hicieron necesarias “medidas más responsables respecto del abuso y derroche que conlleva una arquitectura de la representación de la espectacularidad, por delante de criterios sencillos y sostenibles de aplicación”.

Atendiendo a este panorama, este trabajo propone estudiar el agua como recurso limitado² en la ciudad de Santa Fe (Santa Fe, Argentina). Se plantea como objetivo un análisis que conduce hacia una reflexión sobre el rol de las instalaciones domiciliarias como recurso proyectual, orientado al aprovechamiento del agua y, consiguientemente, a la adecuación de la vivienda al medio ambiente.

La discusión involucra entonces a los profesionales, pero también a los usuarios, que con sus hábitos y decisiones afectan desempeño del recurso (Alonso-Frank y Kuchen, 2017). Si bien se reconoce, en diversos autores, antecedentes que describen similares trayectos de investigación, este trabajo pretende aportar una perspectiva innovadora al estudiar el caso de la ciudad de Santa Fe, en el marco de la reciente normativa de regulación hídrica. En este sentido, la contribución fundamental radica aquí en la revisión crítica del caso instrumental en relación con el alcance del marco regulatorio, aun cuando se recupera los caracteres metodológicos de análisis previos.

En términos de características arquitectónicas, debe indicarse que a pesar de que este artículo recorta en la

utilización de dispositivos regulares pluviales como variable central –dada la normativa vigente–, a fin de efectuar un estudio comparativo, los criterios de diseño y resolución constructiva de las edificaciones inciden directamente en la eficiencia hídrica. A partir de dicho estudio, se constata que la planificación del tamaño y pendiente de las cubiertas, al igual que la manipulación de la capacidad absorbente en los casos que incluyen superficies verdes, consolidan pautas para optimizar la reutilización del agua, en oposición a aquellos casos que sólo proponen su evacuación.

METODOLOGÍA

Desde el punto de vista metodológico, para arribar a la discusión final, este trabajo plantea dos fases, que se detallan a continuación:

Fase 1: Análisis multidimensional del caso de estudio: Ciudad de Santa Fe.

Dimensión 1: Se caracteriza la cuenca hidrográfica que compromete a la ciudad, con el objeto de ponderar la interrelación entre las características geográficas del área y los particulares regímenes pluviométricos e hídricos. Asimismo, se describe el origen de los dispositivos reguladores pluviales en el marco de diversas decisiones, que han pretendido dar respuesta las especificidades de la región en términos de sus condiciones naturales.

Dimensión 2: Se caracteriza la normativa vigente en materia de regulación de excedentes pluviales.

Dimensión 3: Se cuantifica en profundidad el suministro de agua por red, recuperando datos de investigaciones precedentes LATEC/FAU/LATMAT/FADU y cátedras de Instalaciones FADU-UNL.

Fase 2: Análisis del caso de estudio (3 dimensiones), a partir de los tres escenarios siguientes:

1. Nivel de eficiencia del usuario y cambio en los hábitos de consumo (Alonso-Frank y Kuchen, 2017)
2. Cambio en la tecnología sin uso del agua de lluvia cosechada
3. Cambio en la tecnología con uso de agua de lluvia cosechada

1 “Nuevo régimen climático” es un término acuñado por Bruno Latour. En su último libro (2017), utiliza este concepto haciendo alusión al fin del Holoceno y comienzo del Antropoceno.

2 Según la empresa Aguas Santafesinas S.A., la cantidad de energía necesaria –bombeo, transporte, tratamiento y distribución- para obtener 1 metro cúbico de agua apta para el consumo humano desde la fuente de río, oscila entre 0.35 Y 0.40 Kw/h/m³. De esta manera, aunque este trabajo reconoce la interrelación entre los recursos hídrico y energético en el contexto de la provisión domiciliaria, tal aspecto es intencionalmente omitido en el análisis de la eficiencia en el manejo del agua como recurso fundamental.

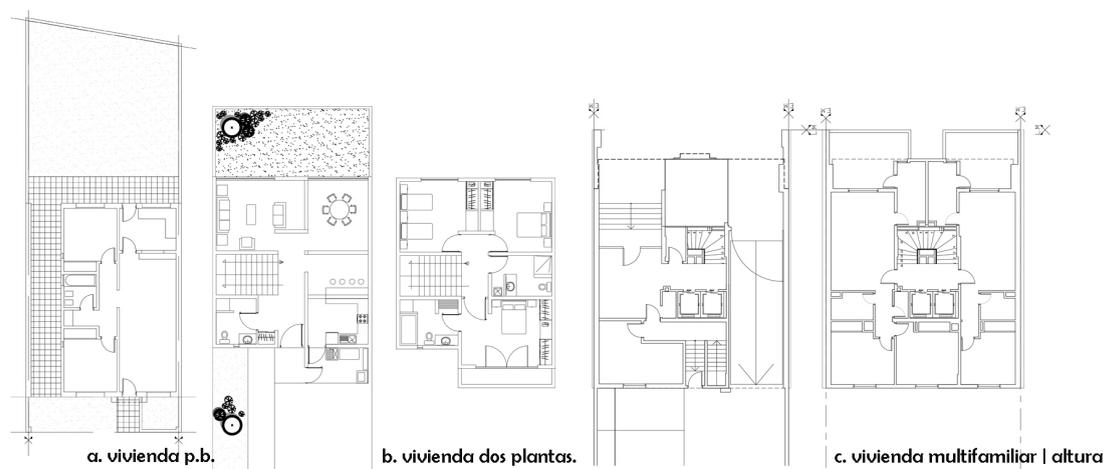


Figura 1. Tipologías para el análisis. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 2. Foto aérea metropolitana del Gran Santa Fe. Fuente: Elaboración de los autores en base a Google Earth.

En el desarrollo de esta segunda fase del análisis, se contemplan tres tipologías posibles de viviendas con instalación sanitaria tradicional, para servir un promedio de cuatro integrantes³, las que cuentan con: un baño, una cocina, un lavadero y una canilla de servicio para un patio pequeño o mediano (Figura 1). Las tipologías son:

- a. Vivienda de una planta o planta baja
- b. Vivienda de dos plantas o pisos altos
- c. Vivienda en edificio multifamiliar o en altura.

Y para elaborar una síntesis de cada escenario de eficiencia, se retoma el concepto de “abatimiento” (Clerc, Díaz y Campos, 2013), mediante el cual se entienden los costos como beneficios percibidos al reemplazar una tecnología o uso de referencia por una alternativa. De este modo, se puede elaborar una *curva*, en cuanto representación gráfica de los costos abatidos de un menú de opciones, junto a sus porcentajes de reducción.

ANÁLISIS

DIMENSIÓN 1: EL SISTEMA HÍDRICO DE SANTA FE

La ciudad de Santa Fe está asentada en la confluencia y valle de inundación de dos ríos: Paraná y Salado. Sus límites físicos son, en su mayoría, fluviales, y además el 70% de su territorio está conformado por humedales (lagunas, ríos y bañados).

De acuerdo con Sánchez y Sánchez (2004), el aumento sostenido en la demanda sobre los recursos hídricos es limitado, poniendo de manifiesto la necesidad de buscar formas más eficientes para aprovecharlos, como también de considerar medidas que moderen su uso en procesos o actividades.

Asimismo, Santa Fe se ubica en la cuenca hidrográfica del Río Paraná, área que presenta como característica constata

³ El informe “Santa Fe, cómo vamos” (2019) determina que el promedio de integrantes censados es de cuatro personas por vivienda.

eventos hidroclimáticos cíclicos, con abundantes lluvias, crecidas y desborde de ríos, principalmente en los periodos de verano y otoño. La ubicación en esta cuenca, denominada técnicamente “Paraná Medio” recibe una influencia de todos los fenómenos que suceden en la parte alta, Bolivia, Brasil y Paraguay (Figura 2).

El Río Paraná define el límite hacia el Este, mientras que el Río Salado, el del Oeste, y pese a las particularidades, sus valles de inundación llegan a tener contacto en el borde sur de la ciudad, situación que magnifica la vulnerabilidad del territorio. Así, y retomando a Paoli y Schreider (2000), el Río Paraná⁴ es, sin duda, el más importante del sistema hidrográfico “Río de la Plata”, al contar con una superficie de cuenca de 1.510.000km² y una extensión de, aproximadamente, unos 2.570 km.

Las características geográficas de la ciudad han conllevado consecuencias históricas. Desde 1905 se han registrado numerosos periodos de creciente e inundaciones⁵, pero fue en el año 2003 y 2007 cuando la ciudad atravesó dos fenómenos significativos que ameritaron la formulación de un *Plan Director*.⁶ En él, se pautaron acciones estructurales: consolidación de defensas, construcción de nuevos puntos de operación para la extracción de agua de la ciudad, conformación de reservorios para la acumulación de agua de lluvia y un complejo sistema de drenajes. En paralelo, se implementaron disposiciones legales para el tratamiento de residuos que afectan los desagües, la creación de cintas verdes⁷, un nuevo factor de impermeabilización del suelo (FIS), modificaciones al reglamento de ordenamiento urbano –ROU- y sistemas de regulación de excedentes pluviales.

Resulta además necesario caracterizar, por un lado, el régimen hídrico de los ríos, y por el otro las precipitaciones.

En relación con lo primero, todo el sistema Paraná Medio cuenta con crecidas producidas por los aportes en las zonas altas: “[...] la génesis de sus aportes indica que

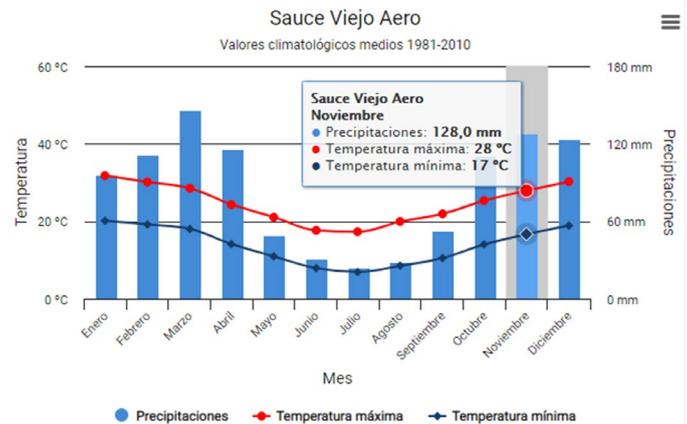


Figura 3. Precipitaciones mensuales Santa Fe, estación Sauce Viejo. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

las lluvias que se producen en las cuencas de aporte del Alto Paraná, Río Iguazú y Río Paraguay, son las causantes directas de los derrames en los tramos medio e inferior, presentando una baja incidencia los aportes propios de dichos tramos” (Paoli y Schreider, 2000, p. 72). De acuerdo con los autores, el Río Paraná –a la altura de la provincia de Corrientes, Argentina- tiene un módulo anual de 17000 m³/s, recibiendo aportes del Paraná Alto y el Paraguay, y en todo el tramo medio, incorpora unos 1000 m³/s.

Respecto del régimen de precipitaciones, debido a la escasez pluvial en invierno y los excesos en verano, se presenta con un promedio anual de entre 1000 mm a 1200 mm (Figura 3). Acorde con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), las precipitaciones no distan de las mencionadas para toda la Cuenca: con 1019,80 mm anuales y máximas extremas de hasta casi 200 mm diarios registrados en el mes de marzo de 2007.

4 La cuenca del Paraná incluye territorio de Brasil, Argentina, Paraguay y Bolivia, abarcando una superficie de 2.6 millones de kilómetros² (84% del sistema fluvial del Río de la Plata), e integra el zócalo brasileño y las vertientes orientales de un sector andino a través de su recorrido por Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina. El sistema está compuesto por tres áreas hidrográficas: el Río Paraguay, el Alto Paraná y el Paraná Medio e Inferior (Bello, Ballesteros, Buitrago, González y Velasco, 2018).

5 Inundaciones por crecidas del Río Paraná: 1905, 1966, 1982/3, 1992, 1998; por crecidas del Río Salado: 1914, 1973, 2003; por lluvias extraordinarias; 2007 (Informe 2019 de la Gestión de Riesgos de Santa Fe).

6 Plan Director de desagües pluviales urbanos, formulado en el marco del Plan Urbano 2010. Gobierno de la Ciudad de Santa Fe.

7 Cintas verdes refiere a un espacio con césped y/o árboles que se debe contemplar al momento de construir una vereda y destinado a una mejor absorción del agua de lluvia, disminuyendo la superficie construida con solados. En la ciudad de Santa Fe es obligatoria por ordenanza y en todos los casos en los cuales el ancho de la vereda o acera supere los dos metros. Véase: Ordenanza N°11610. Honorable Concejo Municipal de la Ciudad de Santa Fe de la Vera Cruz. 17/9/2009.

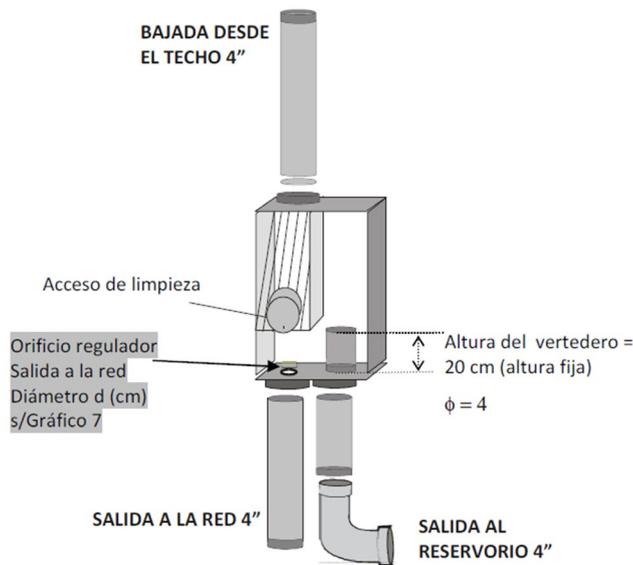


Figura 4. Dispositivo regulador hidráulico. Fuente: Izquierda: Secretaría de Recursos Hídricos de Santa Fe.

Figura 5. Reservorio diseñado en el edif. SJ 58 Pilay-Capitel – calle Irigoyen Freyre 2230, Sta. Fe.

El patio de PB es en sí mismo el reservorio, ocupando éste toda su superficie. Fuente: Fotografía de los autores.

DIMENSIÓN 2: NORMATIVA Y REGULACIÓN DEL EXCEDENTE

En diciembre de 2012 se sancionó en la ciudad la Ordenanza N° 11959 "Sistema de regulación de excedentes pluviales"⁸. El modo con el que se propone contribuir con la optimización del funcionamiento del sistema urbano consiste en la incorporación de dispositivos hidráulicos que tendrían por misión controlar la evacuación de excedentes pluviales de una forma paulatina, retardando los drenajes para controlar su impacto en el sistema. Estos dispositivos hidráulicos deberán reducir el caudal máximo a un mínimo del 50%. Y se componen de dos elementos conceptuales: un "reservorio" y un "regulador".

En cuanto a las instalaciones domiciliarias, el sistema funciona del siguiente modo: el agua escurre por cubiertas y superficies impermeables hacia canaletas y embudos; luego es transportada hacia tuberías de bajada en las que se interpone un "regulador", que conduce, a través de un ducto con orificio de salida reducido, el agua de lluvia a la red, y el resto –rebalse–, mediante uno estándar que se redirige y almacena en un "reservorio". En éste, y de igual manera, una parte es escurrida a la red por medio de una salida con orificio regulado, y el resto se almacena en la

cisterna. Para determinar las capacidades y diámetros de los componentes, se realiza un simple cálculo que consiste en determinar las superficies impermeables del edificio y considerar las pendientes de cubiertas. Con estos datos, se considera una curva de retardo del 50%; luego, a partir de la elaboración de tablas, se obtiene el volumen del reservorio y se define el diámetro del orificio de salida (Figuras 4 y 5).

EL REGULADOR HIDRÁULICO COMO INSTRUMENTO DE LA NORMATIVA

A efectos establecer precisiones en el marco del análisis de la dimensión normativa, se propone un ejemplo práctico: una vivienda con una cubierta de techos⁹ de 100 m² y una tormenta de diseño con una intensidad¹⁰ de 180 mm/h, lo que significa 18.000 litros de agua que deben ser evacuados.

Considerando la ecuación de Díaz Dorado (2008), el caudal a evacuar para el ejemplo citado es de: 5 l/s.

$$Q \text{ (caudal)} = (S \text{ (sup.)} \times I_{\text{máx}} \text{ (lluvia)} \times e \text{ (coef. fricción)}) / 3600$$

El gráfico siguiente muestra las curvas de precipitaciones de la zona analizada en función de la recurrencia, en donde,

⁸ Ordenanza N° 11959, Sistema de regulación de excedentes pluviales de Santa Fe de la Vera Cruz. Consejo Municipal, 13 de diciembre de 2012.

⁹ La ordenanza exige considerar todas las superficies impermeables, solados, etc. Sólo con fines ilustrativos se ofrece como ejemplo una cubierta de techos.

¹⁰ "Intensidad de lluvia" es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia con respecto al tiempo; su unidad de medida es mm/h.

con una doble entrada, se indica en la abscisa la duración y en la ordenada la intensidad. De ello, se determina el dato de 180 mm/h para los cálculos ulteriores (Figura 6).

Además de considerar el caudal a evacuar por un inmueble, es necesario precisar otro parámetro: el régimen de lluvia. Entonces, se podrá cuantificar la cantidad de agua que se almacena en una cisterna, cumpliendo la normativa N° 11959 a lo largo de un período determinado. Se consideran algunos datos para transformarlos en fuentes de información, según el SMN, como se mencionó, el régimen de precipitaciones de la ciudad de Santa Fe, es de entre 1000 a 1200 mm anuales (Figura 7).

EL SMN posee datos rigurosos en dos periodos (1961/90 y 1981/10), en los cuales se puede advertir que los 1000 mm a 1200 mm anuales no se suceden de modo equitativo, siendo los meses de verano más lluviosos los correspondientes al invierno. También se informa la cantidad de días en cada mes y cada estación con días de lluvia. Considerando este dato, por el cual no es factible acumular agua de lluvia de igual forma en todos los meses y estaciones, se propone, con fines prácticos, valorar el régimen de 1000/1200 mm anuales en un promedio lineal.

Como resultado, una vivienda con una cubierta de 100 m² que recibe 1000 mm a 1200 mm de agua anual, recogerá de 120.000 a 144.000 litros por año. De ello, se calcula un promedio mensual de 10.000 a 12.000 litros.

Resta exponer que, si bien la ordenanza N° 11959 contempla el almacenamiento para atenuar el impacto hídrico en el sistema urbano, no estipula la cosecha para uso. Entonces, los volúmenes de cisternas, en principio, no cuentan con capacidad plena para acumular los montos de lluvia, por lo que dependerá de las estaciones, los meses y los días con lluvia.

DIMENSIÓN 3: SUMINISTRO DEL AGUA Y DISTRIBUCIÓN POR RED

De acuerdo al informe “Santa Fe, cómo vamos 2016, 2017 y 2019”, producido por el gobierno de la ciudad y la Bolsa de Comercio, al igual que los datos oficiales de la firma Aguas Santafesinas SA (ASSA), más del 92% de la ciudad cuenta con red de agua potable proveniente de una toma superficial en el Río Colastiné (perteneciente a la cuenca del Río Paraná). El resto de la población se abastece de agua a través de perforaciones comunitarias y domiciliarias. El consumo diario de agua por habitante en la localidad es de 397,5 litros, siendo el recomendado por la OMS de 100 litros per cápita (Bartram et al., 2009), vale decir que se cuadruplican los valores estipulados. Este indicador promedio de consumo surge, según ASSA, de suponer el producido distribuido entre los usuarios. En concordancia con lo que afirma Franco (2019), el consumo real debe operarse con sistemas de medición y no por distribución de producción entre los servidos. Como

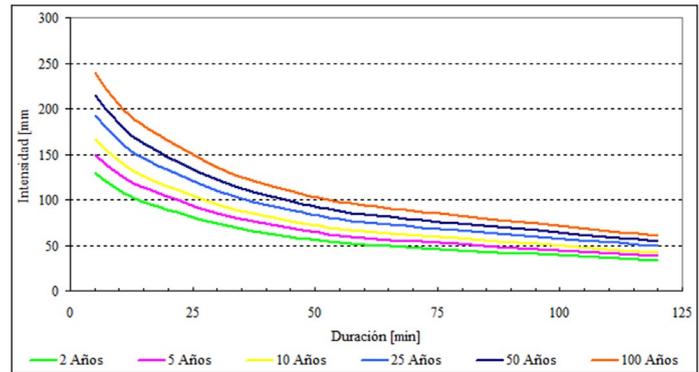


Figura 6. Curvas de intensidad-duración-frecuencia IDF serie 1970–2006 (Bertoni) II - Taller de Regionalización. Fuente: FICH-UNL Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional Litoral.

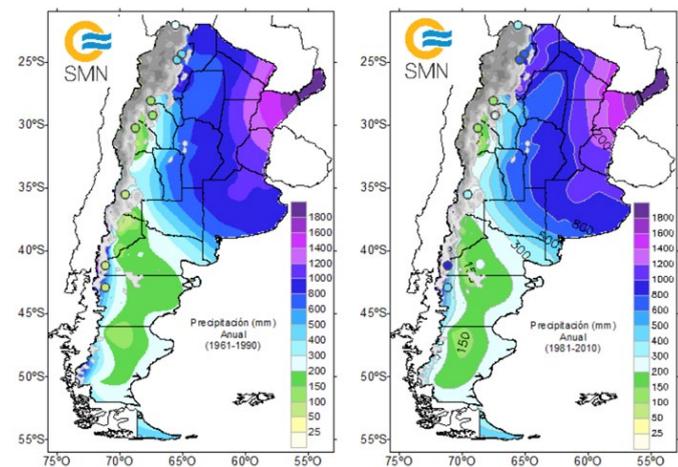


Figura 7. Precipitaciones anuales periodos de (1961-1990) y (1981-2010). Fuente: SMN.

advierten Calcagno, Mendiburo y Gaviño (2000), el promedio de litros/habitantes/día tiene en la Argentina un rango muy amplio de variación entre provincias, que oscila desde un máximo de 654l/h/d a mínimos de 168l/h/d.

Los valores de agua no contabilizada constituyen uno de los principales problemas de eficiencia en la mayoría de los servicios de agua potable. Se estima que entre un 35 a un 40% del agua producida se pierde en las redes y en las conexiones clandestinas. En este sentido, Jiménez (1994) propone una clasificación para el uso eficiente del agua basada en cinco grupos; detección y reparación de fugas, tarifas, educación de usuarios y reglamentaciones.

Según datos de la prestataria ASSA (2019), se encuentran instalados 17.380 medidores, que representan el 16% del total de conexiones. Esto significa que la mayor parte de los usuarios pagan de acuerdo al sistema tarifario catastral -por asignación de volumen. Por ello, el régimen tarifario en la ciudad, en su mayor porción, está basado en el sistema de volumen de agua asignado mediante catastro y está regulado por la Ley Provincial N° 11220 “Régimen Tarifario de la

Prestación del Servicio¹¹. Los usuarios conectados al servicio poseen una fórmula de cálculo que se expresa así:

$$MF = (CF + P \times Q) \times FS \times TR$$

MF Monto a facturar (\$/periodo)

CF Cargo fijo (\$/periodo)

P Precio del m³ de agua (\$/m³)

Q Volumen de agua a facturar (m³/periodo – QM medido o QA asignado)

FS Factor de servicio

TR Tasa retributiva control y regulación (ENRESS)

La revisión tarifaria mantiene el esquema de subsidios a los usuarios por parte del Estado Provincial, que seguirá cubriendo con fondos del tesoro parte de los gastos que debe afrontar la empresa para prestar sus servicios. El subsidio estatal en Santa Fe es del orden del 30% (ASSA, 2019). En virtud de un estudio realizado por la FADU-UNL, en conexiones con medidor instalado por la empresa ASSA, el promedio de agua consumida QM es de 188l/h/d, valor que dista de los 397,5l/h/d declarados por la empresa.

Dado lo expuesto, es posible afirmar que los valores confirman, por un lado, la sobreasignación de consumo para los sistemas no medidos y la diferencia positiva entre el consumo real por persona y el declarado por la prestataria en una brecha de entre el 40% y 50%.

EFICIENCIA EN EL USO DEL RECURSO

La normativa de Obras Sanitarias de la Nación (OSN) fijó valores de capacidad de tanques de reserva en función de promedios de consumo diario asignados a unidades locativas tipo que incluían: un baño principal, un baño de servicio, una pileta de cocina y una pileta de lavar (Lemme, 1973). La unidad tipo se consideraba, por cierto, conformada por una familia de cuatro integrantes. El Reglamento para Instalaciones Sanitarias Domiciliarias¹² establecía que para la unidad tipo se debía contar con un tanque de 850 litros, cuando éste fuera alimentado en forma directa -sin tanque de bombeo-. Por su parte, el Título II (provisión domiciliaria de agua), Capítulo III, art. 142, inc. 1, indica: “[...] deberán tener dimensiones proporcionales a la cantidad de agua que deban proveer y su capacidad útil será, por lo menos, igual al consumo que corresponda a veinticuatro horas de uso”. De aquí surge un consumo promedio estipulado por persona y por día de 212,5 litros de agua (Tabla 1 y Figura 8).

Higiene personal	Consumo	Uso	Litros / Habitante / Día
Ducha	8 min	1 uso diario	75 L
Bañera	1,70m x 0,75m	1 uso diario	200 L
Descarga de inodoro selectivo	3 a 6 L	10 descargas	45 L
Descarga de inodoro	6 a 10L	10 descargas	80 L
Válvulas de inodoros	1 L/s	10 desc. de 3 s	30 L
Bidet	10 L	1 minutos	10 L
Pileta de lavar las manos	0,16 L/s	3 minutos	30 L
Promedio			160L
Higiene del hogar			
Lavado de platos y enseres	0,16L/s	8 minutos	18,75 L
Lavadora automática	4 Kg.	1 usos diarios	6,25 L
Pileta de lavar la ropa	0,16L/s	5 minutos	12,5 L
Lavarropas	50 a 60 L p/ciclo	1 uso	13,75 L
Limpieza del hogar (ej. pisos)	0,16L/s	Promedio	12,5 L
Lavado de vehículos	500 L	1 uso semanal	*
Promedio			45L
Mantenimiento de verde			
Regado de plantas	0,16L/s	Diario	4 L
Regado de jardín pequeño	0,16L/s	Promedio	18,75 L
Regado de jardín mediano	0,16L/s	Promedio	37,5 L
Promedio			18 L
Consumo e ingesta			
Para beber		Diario	1,5 L
Para cocinar		Diario	1,5 L
Promedio			3 L
Total diario			226L

Tabla 1. Consumo de agua en función de usos en viviendas considerados en litros/habitante/día. Fuente: Cátedra Instalaciones FADU-UNL (2018).

11 Gobierno de Santa Fe. Ley Provincial N° 11220, Transformaciones del sector público de agua potable, desagües cloacales y saneamiento. 12 de diciembre de 1994

12 Decreto N° 11877 del P.E.N. - Ministerio de Obras Públicas de la Nación – Administración General de Obras Sanitarias de la Nación – Argentina – 1954 y modificatorias

13 Investigación CAI+D, (2008) denominada “Arquitectura sustentable, desarrollo experimental de un módulo habitacional con consumo de energía 0”, bajo la dirección del Prof. Arq. Alberto Maidana, FADU-UNL.

En ese contexto, la presente investigación recoge el método de identificación de usos de agua domiciliaria propuesto por Castillo-Ávalos y Rovira-Pinto (2013), en tanto formula un cálculo de modo comparativo entre los volúmenes potenciales de agua que se pueden llegar a ahorrar en la vivienda, para lo cual se procedió, por parte del Laboratorio de Técnicas y Materiales (LATMAT) FADU-UNL¹³, a readaptar el método y recalcular los valores de consumo de agua en viviendas pertenecientes a la ciudad de Santa Fe:

ANÁLISIS DESDE 3 ESCENARIOS

A continuación, recuperando las tres dimensiones sobre las que se construyó el análisis en primera fase y caracterizado el caso de estudio en términos de provisión, aprovechamiento y manejo del agua como recurso, se definen tres escenarios que constituyen situaciones típicas a comparar, con el objetivo de completar el análisis, obtener los resultados y promover la discusión final.

1° ESCENARIO – NIVEL DE EFICIENCIA DEL USUARIO

La primera opción, “nivel de eficiencia del usuario” (NEU), para adoptar el término de Alonso-Frank y Kuchen (2017), se puede incorporar con acciones como las que siguen: Una ducha de 10 min, consume 100 litros de agua, mientras que una de 5 min, la mitad. Si se utiliza un vaso para cepillarse los dientes, se consume 0,25 litros de agua, mientras que dejando abierta la canilla se emplea entre 20 y 30 litros. Afeitarse cerrando el grifo consume unos 3 litros, mientras que hacerlo con el grifo abierto, consume unos 40 litros de agua. Mantener el verde de patios y jardines regando por la tarde/noche o al amanecer en vez de hacerlo mediante gatillos reguladores, permite ahorrar hasta la mitad de agua. Todos estos datos, extraídos de Agua y Saneamientos Argentinos (2019) (AySA) e investigaciones LATMAT, FADU-UNL, evidencian que es posible una reducción de hasta el 30%, tan solo a partir de un uso racional y cambios de hábitos en los usuarios-habitantes.

Si se considera el ítem *higiene personal* (Figura 9), responsable del 70% del consumo de agua por habitante y por día, se puede graficar el posible uso eficiente en litros para los distintos artefactos involucrados; de lo cual se advierte que el consumo del recurso podría alcanzar una reducción de hasta el 30%, sin alterar niveles de confort. En el ítem *higiene del hogar* (Figura 10), el NEU puede llegar hasta valores superiores al 20%, por ejemplo, mediante la utilización de baldes para la limpieza de pisos en lugar de mangueras a canilla abierta. En relación al *mantenimiento de verde* (Figura 11), considerando patios chicos y medianos, el uso eficiente no es tan significativo como en los anteriores, pues llega a valores de hasta 10% de NEU, gracias al uso de gatillos dosificadores o regaderas. En cuanto al consumo de agua para ingesta (Figura 12), para cocción, bebida e infusiones, no se contempla ningún valor de NEU.

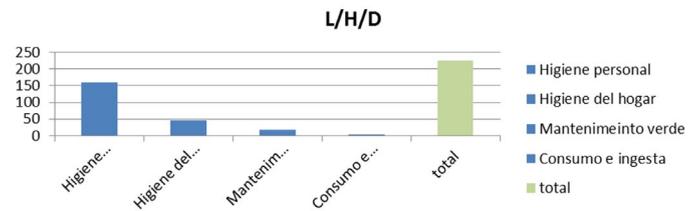
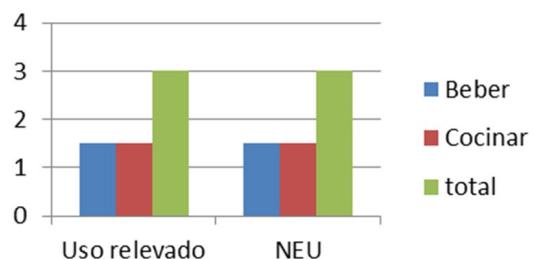
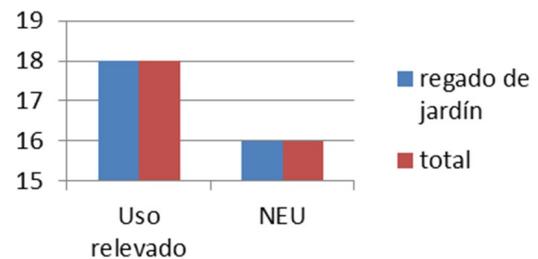
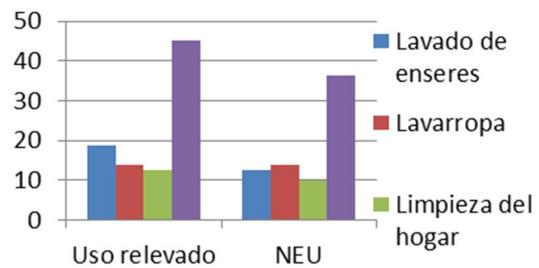
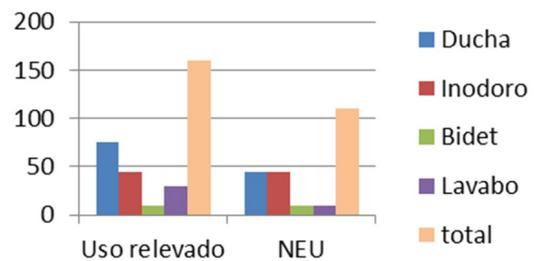


Figura 8. Usos en relación a los consumos de agua.
 Fuente: Cátedra de Instalaciones FADU –UNL (2018).



Figuras 9-10-11-12 (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo). Niveles de eficiencia posibles frente a los distintos usos. Fuente: Elaboración de los autores en base a datos de ASSA, AySA y Cátedra de Instalaciones FADU-UNL (2018).

13 Investigación CAI+D, (2008) denominada “Arquitectura sustentable, desarrollo experimental de un módulo habitacional con consumo de energía 0”, bajo la dirección del Prof. Arq. Alberto Maidana, FADU-UNL.

usos	Higiene Personal	Higiene Hogar	Mantenim. Verde	Ingesta	Hig. Pers. Ab.	Hig, Hogar Ab.	Mant. Verde Ab.	Ingesta Ab.
litros	160	45	18	3	-50	-8,75	-2	3
	consumos relevados promedios				abatimiento por nivel de eficiencia del usuario			

Tabla 2. Tabla con datos de consumos relevados (demanda) y valores posibles de reducción (abatimiento) en litros de agua aplicando criterio de eficiencia en los usuarios. Fuente: Elaboración de los autores.

Para elaborar una síntesis de cada escenario de eficiencia, se retoma el concepto de “abatimiento” propuesto por Clerc *et al.* (2013), referido a la curva que muestra el impacto producido ante medidas de reducción de consumos, emisiones y usos energéticos, el cual permite establecer indicadores entre las distintas decisiones de mitigación y ahorro, a fin de planificar los esfuerzos asociados a la misma.

Desde esta perspectiva, se entiende a los costos como beneficios percibidos, al reemplazarse una tecnología o uso de referencia por otro alternativo. En concreto, se puede elaborar una curva de abatimiento, en tanto representación gráfica de los costos abatidos de un menú de opciones, junto a sus porcentajes de reducción. En este gráfico, es posible observar las diversas selecciones ordenadas, como también la información relevante para evaluar y comparar los efectos de distintas medidas. Asimismo, las curvas encuentran su fuente principal de conocimiento en el abatimiento de emisiones de CO₂ y GEI, pero, con propósitos ilustrativos, se utiliza el concepto para elaborar un gráfico representativo del posible abatimiento en litros de agua consumidos en los ítems considerados por sobre el NEU.

De los 226l/h/d, aplicando los criterios de NEU, se puede lograr una eficiencia de hasta el 26.88%, esto es, unos 60,75l/h/d (Tabla 2 y Figura 13).

2° ESCENARIO – CAMBIO EN LA TECNOLOGÍA SIN USO DEL AGUA DE LLUVIA COSECHADA

La segunda opción, cambio en las tecnologías sin incorporar la cosecha de agua, se refiere a todas las posibilidades en las cuales se pueden utilizar artefactos e instalaciones que sean más eficientes, sin bajar los niveles de confort ni modificar las necesidades básicas de consumo. Un ejemplo de ello sería utilizar mochilas de inodoro selectivas¹⁴ o válvulas, en lugar de depósitos tradicionales, o bien, usar griferías con pulsador-temporizador o automáticas, en vez de canillas tradicionales (Figuras 14, 15, 16, 17 y 18).

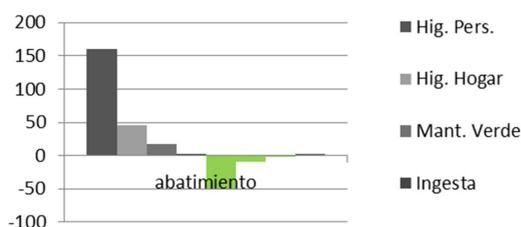
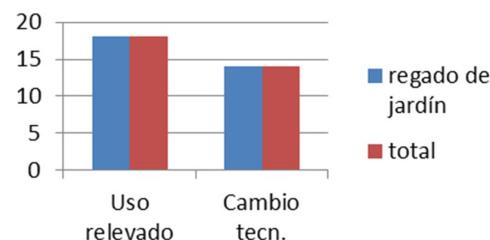
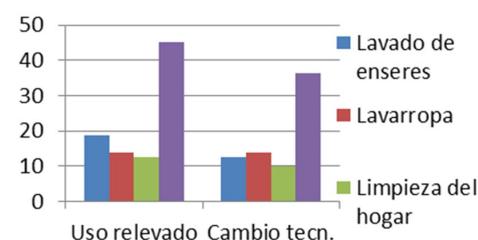
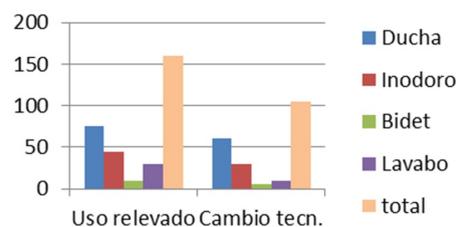


Figura 13: Gráfico de abatimiento en litros de agua aplicando criterio de eficiencia en los usuarios. Fuente: Elaboración de los autores.



Figuras 14-15-16 (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo). Gráfico de barras donde se muestran los niveles de eficiencia posibles frente a los distintos usos. Fuente: Elaboración de los autores en base a datos de ASSA, AySA y Cátedra de Instalaciones FADU.

14 Se conoce como “mochilas de inodoro” a los depósitos o tanques de descarga para limpieza con la capacidad mecánica de selección por pulsado, para liberaciones de agua total o parcial, en función de su capacidad.

usos	Hig. Pers.	Hig. Hogar	Mant. Verde	Ingesta	Hig. Pers. Ab.	Hig. Hogar Ab.	Mant. Verde Ab.	Ingesta Ab.
litros	160	45	18	3	-160	-26,25	-19	3
consumos relevados promedio					abatimiento por consumo eficiente del usuario			

Tabla 3. Tabla con datos de consumos relevados (demanda) y valores posibles de reducción (abatimiento) en litros de agua, aplicando criterio de cambio en la tecnología sanitaria. Fuente: Elaboración de los autores.

Casos	Posibilidad de uso del agua de lluvia cosechada			
	Higiene personal	Higiene hogar	Mantenim. verde	Consumo-ingesta
Viv. P.B.	Disp. c/tecnología *	Disponible	Disponible	No disponible
Viv. Piso alto	Disponible	Disponible	Disponible	No disponible
Viv. Edif. altura	No disponible	Disp. c/ limitac. **	Disp. c/ limitac. **	No disponible

Tabla 4. Casos y usos del agua de lluvia cosechada. Fuente: Elaboración de los autores.

*necesita de bombeo para incorporar el agua cosechada en la cisterna, hacia el tanque de reserva.

**solo posibilidad de uso en mantenimiento de verde, limpieza de veredas y áreas comunes (PB).

Solo a título ilustrativo, se presenta aquí una comparativa de algunos elementos¹⁵:

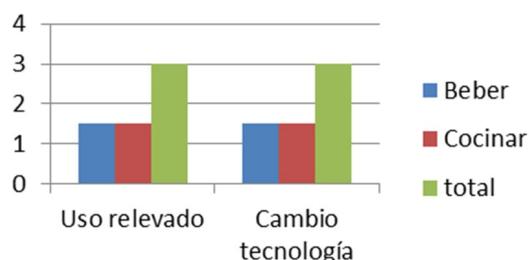
- Válvula de descarga de inodoro primera marca: \$7646
- Mochila de inodoro de primera marca: \$6550
- Grifería de lavatorio, 4^{to} giro cierre cerámico de primera marca: \$8345
- Grifería de lavatorio, automática primera marca: \$10320.

De los 226 l/h/d, aplicando el criterio de eficiencia “cambios de las tecnologías”, sin considerar el aprovechamiento del agua de lluvia cosechada, se puede lograr una eficiencia de hasta el 30%, esto es, unos 67,80 l/h/d (Tabla 3).

3° ESCENARIO – CAMBIO EN LA TECNOLOGÍA CON USO DEL AGUA DE LLUVIA COSECHADA

Incorporar en el uso sanitario la cosecha de agua disponible, aprovechando la obligatoriedad de implantación según la Ordenanza N° 11959 de Santa Fe “Regulación de excedentes pluviales”, presenta un amplio abanico de posibilidades, tanto en tipos de usos como en casos.

En cuanto al *tipo edilicio*: a diferencia de los dos escenarios de eficiencia presentados *ut supra*, que no implican cambios de implementación respecto al tipo de vivienda, vale decir, donde es posible aplicar un criterio de NEU y un cambio en la tecnología, tanto en viviendas de planta baja



Figuras 17 Gráfico de barras donde se muestran los niveles de eficiencia posibles frente a los distintos usos. Fuente: Elaboración de los autores en base a datos de ASSA, AySA y Cátedra de Instalaciones FADU.



Figura 18. Gráfico de abatimiento en litros de agua aplicando criterio de cambio en la tecnología sanitaria. Fuente: Elaboración de los autores.

15 Referencia de una investigación que considera elementos disponibles en el mercado local de la ciudad de Santa Fe y en primeras marcas, como FV, Ferrum y Roca. Valores en pesos argentinos al mes de diciembre de 2019. Dólar de referencia \$ 62,5 (pesos argentinos).

usos	Hig. Pers.	Hig. Hogar	Mant. Verde	Ingesta	Hig. Pers. Ab.	Hig. Hogar Ab.	Mant. Verde Ab.	Ingesta Ab.
litros	160	45	18	3	-160	-26,25	-19	3
consumos relevados promedio					abatimiento por consumo eficiente del usuario			

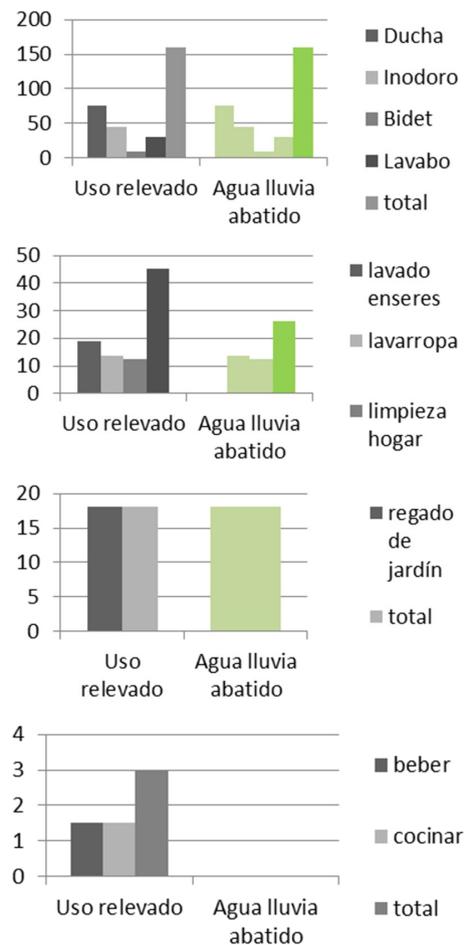
Tabla 5. Tabla con datos de consumos relevados (demanda) y valores posibles de reducción (abatimiento) en litros de agua aplicando criterio de utilización del agua de lluvia. Fuente: Elaboración de los autores.

como de pisos altos y en edificios de vivienda multifamiliar, en este tercer escenario, se presentan restricciones según el tipo edilicio: viviendas de una planta, viviendas de pisos altos y viviendas en edificios multifamiliares o en altura. Las primeras de ellas -considerando el nivel piezómetro disponible en la ciudad de Santa Fe- no necesitan tanque de bombeo pero sí de reserva, y pueden contar con agua de red directa en cocina, por ejemplo, para consumo e ingesta. En las segundas, viviendas desarrolladas en dos niveles, la planta baja y el primer piso, necesitan de tanque de bombeo y de reserva, pero con posibilidad de consumos en servicio directo. Las terceras, por su parte, requieren de tanque de bombeo y reserva, sin posibilidad de servicios directos.

En cuanto al uso: los usos, en relación con el aprovechamiento de la cosecha de agua de lluvia, se presentan caracterizados por dos grupos: el primero, utilización simple, esto es, solo utilización desde la cisterna; y, el segundo, uso complejo, o sea, incorporación del agua recogida en el circuito hidráulico sanitario, con la excepción del consumo e ingesta. Se considera a este último como significativo, ya que solo puede lograrse un valor de eficiencia en esa situación. Efectivamente, si se aprovecha el agua acumulada, sin incorporarla al circuito hidráulico, sólo con la extracción de la cisterna a nivel, mediante una canilla, su utilización queda limitada a higiene de pisos, veredas y mantenimiento de verde, todos consumos que no inciden directamente sobre el grueso del promedio diario.

Las distintas posibilidades en función de los tres casos de viviendas considerados, se pueden resumir en la siguiente tabla (Tabla 4)

En virtud de lo evidenciado, el agua meteórica acumulada no puede ser aprovechada de manera significativa en edificios en altura, por lo que su uso, en el marco de lo establecido por la reglamentación vigente -Ord. 11595-, queda restringido solamente a pequeñas acciones: higiene de espacios comunitarios, riego de verdes, entre otros. Por ende, limitaremos las consideraciones a viviendas, tanto en planta baja como de pisos altos (Tabla 5 y Figuras 19, 20, 21, 22 y 23). Si contemplamos una situación hipotética e ideal, en donde no existiesen limitaciones en la cantidad de agua caída ni en la capacidad de almacenamiento, estas se podrían *abatir*, en el sentido de reemplazar el consumo



Figuras 19-20-21-22: Porcentajes abatidos en litros de agua por cada nivel de uso, higiene personal, higiene del hogar, mantenimiento de verde y consumo e ingesta. Fuente: Elaboración de los autores.

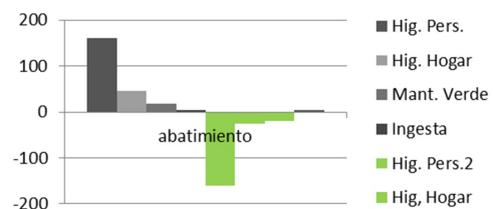


Figura 23. Gráfico resumen de abatimiento en litros de agua aplicando criterio de utilización del agua de lluvia. Fuente: Elaboración de los autores.

usos	Consumo mensual	abatimiento s/lluvias Sta. Fe	abatimeinto s/Ord. N° 11595
litros	27120	-12000	-6000

Tabla 6. Tabla con datos de consumos mensuales (demanda) y valores posibles de reducción (abatimiento) en litros de agua, que considera el promedio anual de lluvias en Santa Fe y la capacidad de almacenamiento de las cisternas, según Ordenanza N° 11595 y para el caso de estudio ejemplificado. Fuente: Elaboración de los autores.

del servicio de red por agua de lluvia, del siguiente modo: En el gráfico de higiene personal, se puede abatir el 100%, esto es, 160l/h/d de consumo de agua. En el gráfico de higiene del hogar, es posible abatir el 58%, es decir, 26,25l/h/d. El lavado de enseres se supone aquí en la pileta de cocina y, como se explicará, constituye un consumo surtido por agua de red. En el gráfico de mantenimiento de verde, se puede abatir el 100%: 18l/h/d. Por último, en el gráfico de consumo de agua, no es posible abatir, dado que la ingesta para beber y cocinar se presupone por defecto en agua de red, la cual garantiza la aptitud técnica (Figura 24). Esta situación ideal, en la ciudad, posee una limitación tanto en cantidad de agua caída como en la reserva. Para reemplazar este escenario ideal por uno real, se propone remitir al ejemplo mencionado anteriormente, en donde “una vivienda con una cubierta de 100 m² que recibe 1000 mm a 1200 mm de agua anual, recogerá de 120000 lts a 144000 lts por año. La cantidad resultante arroja un promedio mensual de 10000 a 12000 litros”. Si son necesarios 226l/h/d, para un hogar promedio se requieren mensualmente 27120 litros de agua, vale decir que, simplificando a una función lineal de abatimiento y por cada ítem, se podría conseguir un aprovechamiento del recurso del 44%. Si a esto se suma que la Ord. N° 11595 establece volúmenes de diseño que, para este ejemplo de vivienda tipo con cuatro integrantes y 100 m² de superficies impermeables, alcanzan los 6000 litros de cosecha mensuales, el abatimiento posible sería del orden del 22% (Tabla 6).



Figura 24. Gráfico de abatimiento en litros de agua, que aplica criterio de uso de agua de lluvia considerando promedio anual y capacidad de almacenamiento para el ejemplo explicitado. Fuente: Elaboración de los autores.

compromiso del profesional y del usuario, no solamente con el cumplimiento de una ordenanza, sino para con el medio y los recursos. De lo expuesto, se desprende que la cosecha de agua de lluvia, apta para diversos usos, puede representar un significativo aporte respecto al agua consumida de la red, llegando a valores de orden de reducción de cerca del 40%.

Por otro lado, a través de la descripción del sistema hídrico de la ciudad, o sea, el modo en que se consume el agua de red y las disposiciones legales vigentes en materia de regulación de excedentes pluviales, se puede inferir que el sistema de acumulación de agua de lluvia es eficaz, en el sentido de que cumple con un propósito. Sin embargo, en los términos en que se pretende lograr lo indispensable con el aprovechamiento de lo disponible, no resulta eficiente en cuanto al uso de recursos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre los resultados del estudio, y en el marco de los tres escenarios abordados por el análisis, se plantean las siguientes consideraciones.

En el primer escenario, con un adecuado Nivel de Eficiencia del Usuario (NEU), se logran valores de eficiencia de hasta el 27%, los cuales señalan claramente la importancia de los habitantes en relación al uso y la necesidad de informar, capacitar y difundir las virtudes del uso racional del recurso. En el segundo escenario, utilizar tecnologías disponibles en el mercado local con criterios de eficiencia y sin mayores costos, permiten un abatimiento de hasta el 30%, lo cual indica, entre otros, la relevancia del criterio, responsabilidad y conocimiento de los profesionales al realizar proyectos y ejecuciones de obras. El tercer escenario posibilita abatimientos de entre el 22% al 44%, lo que implica un

CONCLUSIONES

Como ha quedado expuesto, si bien la decisión de acumular los excedentes y su eliminación paulatina posterior atiende al cumplimiento de la legislación vigente, no promueve márgenes de eficiencia: aun cuando los usos se superponen, el agua cosechada no contribuye a disminuir el consumo de provisión de red.

Paralelamente, la normativa reciente establece valores asociados con los aspectos morfológicos de las edificaciones, sin embargo, se presentan sólo a efectos de orientar los cálculos correspondientes: pendientes, superficies de escurrimiento, tamaño de los desagües, etc. En efecto, aún no se registran expresos lineamientos que, en términos de diseño, permitan optimizar la reutilización del recurso agua, sin detrimento de su calidad de servicio y para satisfacer los mínimos de demanda analizados.

Por último, cabe señalar que el resultado del estudio, sin discutir la normativa en el marco del sistema urbano, pretende aportar a la reflexión sobre aquellas decisiones de la praxis proyectual que, en el marco de la construcción de infraestructuras para optimizar el consumo del recurso agua en Santa Fe, no promueven la eficiencia como valor agregado y, por lo tanto, desalientan la concepción de la vivienda como hábitat sustentable.

Paoli, C. y Schreider, M. (Eds.). (2000). *El Río Paraná en su tramo medio*. (Vol. 1). Santa Fe: Centro de Publicaciones UNL.

Sánchez, L.D. y Sánchez A. (2004). *Uso eficiente del agua. Ponencias sobre una perspectiva general temática (TOP)*. Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA). International Water and Sanitation Centre (IRC).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso-Frank, A., Kuchen, E. (2017). *Validación de la herramienta metodológica de Alonso-Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan, Argentina*. *Revista Hábitat Sustentable*. Volumen 7 (1), pp. 6-13.

Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., y Stevens, M. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

Bello, O., Ballesteros, J., Buitrago, M., González, M. y Velasco, O. (2018). *Análisis retrospectivo de las inundaciones: lecciones y recomendaciones*. Buenos Aires: CEPAL - ONU.

Calcagno, A., Mendiburo, N., Gaviño Novillo, J.M. (2000). *Informe sobre la gestión del agua en Argentina*. Buenos Aires: Ed. Global Water Partnership.

Castillo-Ávalos, Y. y Rovira-Pinto, A. (2013). Eficiencia hídrica en la vivienda. *Revista Tecnología y ciencias del agua*. Volumen 4 (4), pp.159-171.

Cátedra de Instalaciones I, II y III (2018). *Cuadernillo bibliográfico de Instalaciones* [Apuntes]. Taller Vertical Bellot. FADU. UNL.

Clerc, J., Díaz, M. y Campos, B. (2013). *Desarrollo de una metodología para la construcción de curvas de abatimiento de emisiones de GEI incorporando la incertidumbre asociada a las principales variables de mitigación*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Delucchi, A. (2016). *Acerca del proyecto en arquitectura. Entre la reconstrucción y la invención*. Buenos Aires: Ed. Diseño.

Díaz Dorado, M.D. (2008). *Instalaciones sanitarias y contra incendios en edificios*. Buenos Aires: Ed. Alsina.

Franco, F. (2019). *Cuadernillo del Laboratorio de Hidráulica*. [Apuntes] Facultad de Ingeniería en Ciencias Hídricas (FICH). Universidad Nacional del Litoral.

Jiménez, A. (1994). Capítulo 1. En H. Garduño y F. Arreguín (Eds.), *Uso eficiente del agua* (pp. 6-26). Montevideo: UNESCO-ORCYT.

Latour, B. (2017). *Cara a cara con el planeta. Una nueva mirada sobre el cambio climático alejada de las posiciones apocalípticas*. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores.

Lemme, J. C. (1973). *Instalaciones aplicadas en los edificios*. Buenos Aires: Luis y Félix Fossati SRL.



BARRIÁN 2020

Bomarea infinita, Jardín botánico
Alejandro Merino, Liceo de Hombres,
Enrique Molina, Concepción
Agustín Catorín, 2018