

## **IMPACTO DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y LOS MATERIALES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EN EL COSTO FINAL DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL.**

**Cristina Cervera<sup>1</sup>, Roque Stagnitta<sup>1</sup>, Analía Gastón<sup>3</sup>, y Rita Abalone<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Fac. de Cs. Exactas Ingeniería y Agrimensura (UNR)*

<sup>2</sup> *Instituto de Física Rosario (IFIR/CONICET-UNR)*

<sup>3</sup> *Investigadora jubilada*

[ccervera@fceia.unr.edu.ar](mailto:ccervera@fceia.unr.edu.ar) Av. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina

**RESUMEN:** En el presente trabajo se analizó el impacto económico y su relación con la eficiencia energética de tres prototipos de vivienda social construidos en la provincia de Santa Fe. Se eligió el prototipo DUPLEX AGRUPADO (Dirección Provincial de Vivienda y Urbanismo de la Prov. de Santa Fe), conformado por tres unidades emplazadas en un mismo lote. Se modelizaron utilizando la metodología BIM (Building Information Modeling), obteniendo cálculos precisos de materiales para realizar el estudio de costos de cada vivienda. Cada prototipo se clasificó según el procedimiento de cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), de la Secretaría de Energía de la Nación. Se analizó la influencia de las diferentes envolventes y orientaciones en el costo final de cada vivienda, comparándolos con su desempeño energético, para la zona bioclimática a la que pertenece la ciudad de Rosario. Se propuso el indicador COSTO – IPE (CIPE) para estudiar la relación costo-beneficio en la eficiencia energética de las mejoras propuestas, concluyendo que para una misma etiqueta energética, el menor costo no es necesariamente la inversión más eficiente. Por lo tanto se propone utilizar este indicador como una herramienta más para el diseño urbano del hábitat, atendiendo a la problemática energética y optimizando el uso de los recursos económicos disponibles.

**Palabras clave:** eficiencia energética, IPE, análisis costos.

### **INTRODUCCIÓN**

El incremento de la demanda energética de nuestras sociedades producto del aumento de la población mundial hace necesario aprovechar al máximo los recursos energéticos disponibles. Gran parte de dicha demanda proviene del sector residencial, por lo que el etiquetado de eficiencia energética de edificios ha cobrado gran importancia a nivel mundial.

En Argentina, el consumo final de la energía en el sector residencial es un 26 % del consumo total (IEA, 2021). En el marco de esta realidad, el etiquetado constituye una herramienta que debería ser aplicada desde las áreas del Estado que trabajan para el mejoramiento del hábitat.

Diversas iniciativas relacionadas con la eficiencia energética en el sector residencial se están llevando a cabo en la Argentina, en particular, la provincia de Santa Fe cuenta con una ley de Etiquetado de Eficiencia Energética de Inmuebles destinados a Vivienda (Ley 13.903, 2019), cuyo objetivo es introducir la Etiqueta de Eficiencia Energética como un instrumento que brinde información a los usuarios acerca de las prestaciones energéticas de una vivienda y, constituya una herramienta de decisión adicional a la hora de realizar una operación inmobiliaria, evaluar un nuevo proyecto o realizar intervenciones en viviendas existentes.

Ante la deficitaria realidad habitacional de Argentina, la eficiencia energética como aporte a la sostenibilidad de las edificaciones se encuentra con la gran barrera económica y presupuestaria, en especial al considerarse las políticas públicas en relación a la vivienda de interés social.

Es por ello, que deben definirse criterios que permitan evaluar y ponderar un equilibrio entre la cantidad de las viviendas que se construyen y la calidad de las mismas en cuanto a eficiencia energética, habitabilidad, confort higrotérmico y cuidado de recursos, cumpliendo con los tres pilares de la construcción sostenible (social, ambiental y económico).

El factor económico se presenta como una de las variables más críticas a la hora de la toma de decisiones. Si en pos de lograr soluciones constructivas para las viviendas de interés social, se atiende solamente al criterio económico, dicha elección traerá un menor costo de corto plazo para el Estado, pero las viviendas en ese caso requerirán luego un excesivo consumo de energía para su funcionamiento. Esto implicará un costo social y ambiental negativo, ya que, para mantener niveles de confort aceptables, los usuarios y el Estado deberán afrontar altos costos económicos durante toda la vida útil de la vivienda, con el consiguiente derroche de recursos naturales. En ese sentido resulta necesario optimizar las características constructivas de las envolventes de las viviendas para alcanzar una máxima eficiencia energética, que a su vez traerá aparejado una mejora en la habitabilidad de las mismas (Mac Donnell y Ponzinetti, 2020; Azqueta, 2014).

A partir de todo lo expuesto es necesario abordar la problemática de la vivienda social desde una mirada multidisciplinar, en donde la planificación del hábitat se desarrolle a partir de criterios y estrategias, orientados a generar soluciones socialmente equitativas, energéticamente eficientes y económicamente viables.

## **METODOLOGÍA**

Se analizaron los prototipos que se construyeron en los diferentes planes habitacionales hasta el año 2019 en la provincia de Santa Fe. La información fue suministrada por el Área de Proyectos de la Dirección Provincial de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de la Provincia, según planos y Pliegos de Especificaciones Técnicas.

Los prototipos designados para el presente estudio fueron las “viviendas agrupadas en dúplex prototipo DU 3.6 M”. Se trata de 3 viviendas unifamiliares dispuestas en forma agrupada en un terreno de 10,75 m de frente por 20 m de fondo. Este último se subdivide en 3 parcelas, quedando 2 lotes de 3.60 de frente y 1 lote de 3,55 de frente por los 20 m de fondo.

Cada vivienda cuenta con 75 m<sup>2</sup> y está desarrollada en planta baja y alta. En la planta baja cuenta con una cocina y un lavadero integrado a la misma, un living comedor y un baño. La planta alta está conformada por dos dormitorios, un baño y un pasillo distribuidor. Se detallan las plantas en las Fig. 1a y 1b y las axonometrías en las Fig. 2a y 2b.

Se consideraron los prototipos implantados en un terreno dentro del área del gran Rosario. Respecto a la relación con el entorno, los mismos no poseen construcciones vecinas en ninguno de sus tres laterales. Para el presente trabajo se los denominó “DUPLEX AGRUPADO” (DU), con sus diferentes variantes según su ubicación, visto desde la calle hacia la fachada de la vivienda (Fig. 3).

DU LI: Duplex ubicado a la izquierda  
DU LD: Duplex ubicado a la derecha  
DU M: Duplex ubicado en el medio

Se partió del prototipo, denominado “CASO BASE”, con las características materiales y constructivas determinadas por la provincia, según los planos y Pliego de Bases y Especificaciones Técnicas, suministrados por la DPVYU.

En primer lugar, se propusieron cambios en las envolventes según el siguiente detalle:

HCCA: Mampostería en LADRILLO HCCA (Hormigón Celular Curado por Autoclave). Se mantiene la solución constructiva original de la cubierta.

PANELERÍA EPS: Muros y cubiertas en Panel de Poliestireno Expandido con malla metálica electrosoldada + hormigón proyectado.



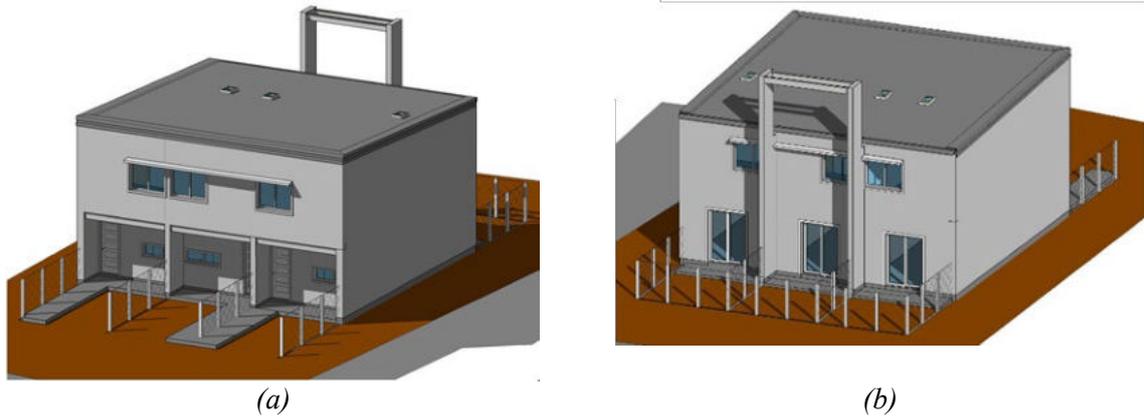


Figura 2: Axonometrías frente (a) y contrafrente (b) Dúplex prototipo DU 3.6 M

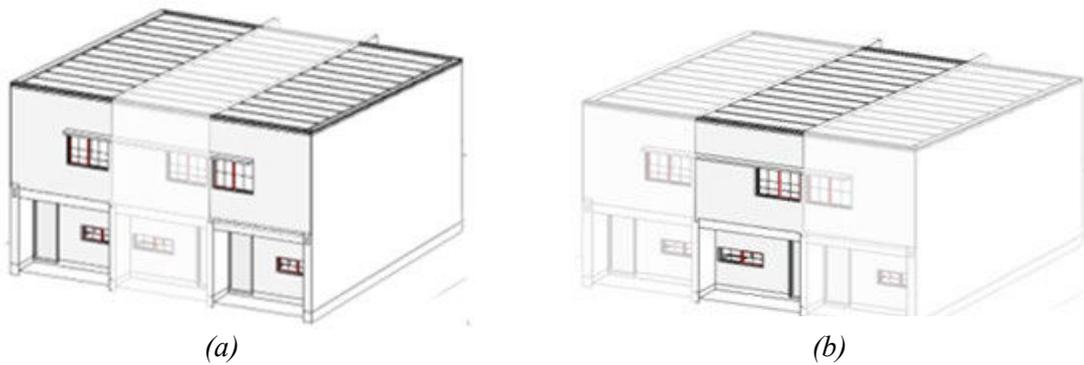


Figura 3: Ubicación de cada unidad respecto a sus linderos (a) izquierdo y derecho, (b) medio

Para el estudio de los casos se utilizó la siguiente nomenclatura:

DU: Tipología de la vivienda

M (medio)- LI (lateral izquierdo) - LD (lateral derecho): Ubicación respecto a sus linderos, visto desde la calle hacia la fachada.

BASE - HCCA - EPS: Materialidad y/o sistema constructivo

N - S - E - O: Orientación del ambiente principal.

Ejemplo: DU - LI - BASE - N = Dúplex, Lateral Izquierdo, Caso Base, Orientación Norte.

Se desarrolló el modelado de los prototipos utilizando como herramienta Revit bajo la metodología BIM (Building Information Modeling), que permite compilar información completa por medio de un modelado 3D inteligente. A través del software se modelaron los prototipos en tres dimensiones, cargándose la información completa de la materialidad asignada a cada caso (Fig. 4 y 5).

Para analizar el desempeño energético de las viviendas, se calculó el Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), y los distintos indicadores que del mismo se derivan, a través del aplicativo de etiquetado de viviendas de la Secretaría de Energía de la Nación (Etiquetado de vivienda, SE, 2020; IRAM 11900:2017). El IPE permite estimar el requerimiento energético (en energía primaria) para el normal funcionamiento de una vivienda durante un año y por metro cuadrado de superficie útil para satisfacer las necesidades asociadas a calefacción en invierno, refrigeración en verano, producción de agua caliente sanitaria e iluminación.

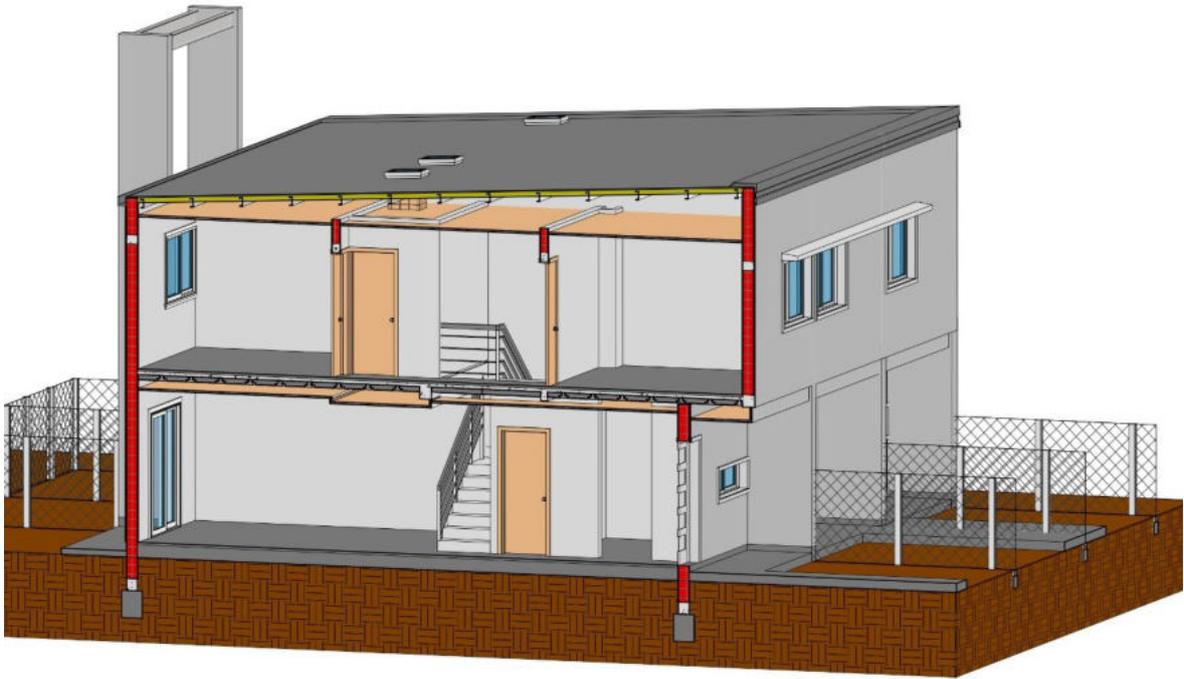


Figura 4: Axonometría seccionada *Dúplex* prototipo DU 3.6 M

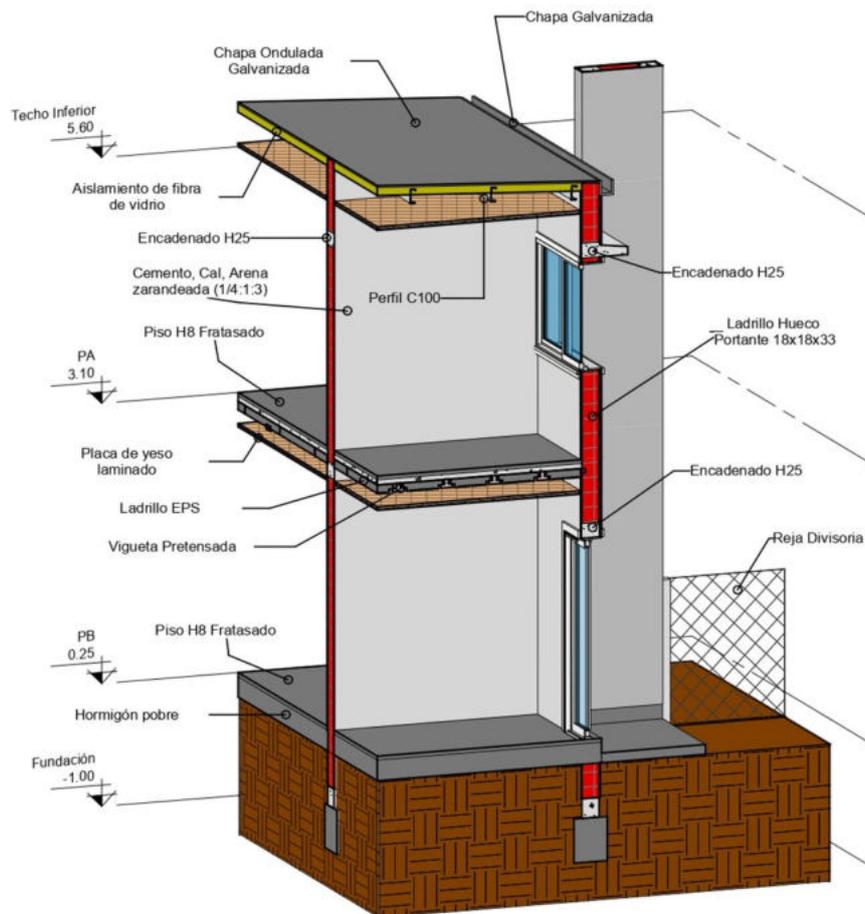


Figura 5: Axonometría seccionada *Dúplex* prototipo DU 3.6 M. Detalle

Como el presente trabajo está orientado a la evaluación de las características de la envolvente en el aplicativo informático se incorporaron sólo las características materiales de los elementos constructivos, no considerándose elementos activos para climatización ni para calentamiento de agua sanitaria. A partir de los cómputos de materiales obtenidos, se presupuestaron las viviendas con las distintas propuestas de envolventes en base a costos de la construcción, según las fuentes de información del sector de la Región.

Además, se analizó el impacto, tanto económico como energético, de la materialidad de las aberturas que forman parte de la envolvente. Se reemplazaron las aberturas originales de aluminio línea “Herrero” vidrio simple de 4 mm, por aberturas de aluminio línea “Móderna” Doble Vidrio Hermético 4+9+4 y por aberturas de PVC Doble Vidrio Hermético 4+9+4, para las diferentes variables elegidas (HCCA y EPS).

Finalmente se propuso un índice COSTO – IPE (CIPE) con el objetivo de analizar la relación entre el costo por metro cuadrado de superficie construida ( $\Delta\$/m^2$ ) y el beneficio obtenido en la mejora del IPE ( $\Delta IPE$ ), ec. (1).

$$CIPE = (\Delta\$/m^2) / \Delta IPE \quad (1)$$

## RESULTADOS

### *Caso Base*

En la tabla 1 se observa cómo impactan las orientaciones en el Índice de Prestaciones Energéticas para el mismo “Caso Base”, en todas las posibilidades de ubicación respecto a sus linderos y en las cuatro orientaciones.

Respecto a la ubicación en relación a los linderos, el prototipo ubicado en el medio siempre presenta una mejor condición de IPE que los laterales en las cuatro orientaciones, siendo la Norte la mejor con 239 kWh/m<sup>2</sup>año. La peor condición se presenta para los casos DU-LD-E y DU-LI-O con un IPE de 371 kWh/m<sup>2</sup>año, un 55 % por encima de la mejor condición.

Como se puede observar en la Tabla 1 los pares DU-LI-N y DU-LD-N, DU-LI-S y DU-LD-S, DU-LI-E y DU-LD-O, DU-LI-O y DU-LD-E poseen el mismo IPE respectivamente. Esto se debe a que, al ser una estimación anual en base mensual, la radiación solar incidente en los muros verticales orientados al este y oeste tiene valores promedios mensuales aproximadamente iguales.

*Tabla 1: Índice de Prestaciones Energéticas para “Caso Base”, según orientación y ubicación.*

ORIENTACIÓN		NORTE			SUR			ESTE			OESTE		
MATERIALIDAD	UNIDADES	L. I.	M.	L. D.	L. I.	M.	L. D.	L. I.	M.	L. D.	L. I.	M.	L. D.
IPE - CASO BASE	kWh/m <sup>2</sup> año	339	239	340	357	258	357	354	269	371	371	269	354
% INCREMENTO IPE S/ LA MEJOR CONDICION	%	42	MEJOR IPE	42	49	8	49	48	13	55	55	13	48

### *Cambio de materialidad*

En la Tabla 2 se puede observar cómo varían las categorías del IPE según las diferentes alternativas constructivas propuestas. La mejor condición (DU-M-N) y la peor condición (DU-LD-E y DU-LI-O) del IPE, que se dan en el Caso Base se replican para los prototipos en HCCA y EPS. La mejora del IPE respecto del Caso Base para la unidad ubicada en el medio resulta en una disminución del 10% y 18% respectivamente.

Para las unidades ubicadas en los laterales se obtienen disminuciones del IPE de hasta un 33%. Esto se debe al impacto de las mejoras sobre los muros medianeros, de dimensiones mayores que los frentes y contrafrentes, debido a la morfología del prototipo analizado.

Al mejorar la envolvente disminuyen las diferencias en el IPE entre los prototipos laterales respecto al prototipo del medio para todas las orientaciones.

### Análisis de costos

A partir del modelado se obtuvieron los cálculos de materiales según los datos cargados. Con esta información obtenida se realizó el análisis de costos en pesos argentinos en abril- mayo del 2022 con precios del mercado, referenciados a: Cifras on line (2022), CPT (2022) y empresas de ventas de materiales e insumos para la construcción de la ciudad de Rosario y la región. Se consideró el cómputo total de las 3 viviendas y se obtuvo proporcionalmente el costo unitario de cada prototipo. Se calculó el índice CIPE para cada alternativa propuesta.

Siendo el mismo costo unitario para todas las orientaciones, se elige analizar la mejor condición para todas las alternativas, siendo ésta el DU-M-N.

Tabla 2: Valores de IPE para los prototipos en sus diferentes variantes respecto de: Orientación, Ubicación respecto a linderos y Materialidad.

ORIENTACIÓN		NORTE						SUR						ESTE						OESTE					
UBICACIÓN RESPECTO A LINDEROS		L.L.		M		L.D.		L.L.		M		L.D.		L.L.		M		L.D.		L.L.		M		L.D.	
MATERIALIDAD	UNIDADES	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE	IPE	CLASE
IPE - CASO BASE	kWh/m <sup>2</sup> año	339	G	239	F	340	G	357	G	258	F	357	G	354	G	269	F	371	G	371	G	269	F	354	G
% INCREMENTO IPE S/ MEJOR CONDICION	%	42		MEJOR IPE		42		49		8		49		48		13		55		55		13		48	
HCCA	kWh/m <sup>2</sup> año	269	F	214	E	269	F	288	G	233	F	288	G	290	G	243	F	299	G	299	G	243	F	290	G
% INCREMENTO IPE S/ MEJOR CONDICION	%	26		MEJOR IPE		26		35		9		35		36		14		40		40		14		36	
% DIFERENCIA IPE S/ CASO BASE	%	-21		-10		-21		-19		-10		-19		-18		-10		-19		-19		-10		-18	
EPS	kWh/m <sup>2</sup> año	229	F	197	E	229	F	250	F	217	F	250	F	258	F	227	F	260	F	260	F	227	F	258	F
% INCREMENTO IPE S/ MEJOR CONDICION	%	16		MEJOR IPE		16		27		10		27		31		15		32		32		15		31	
% DIFERENCIA IPE S/ CASO BASE	%	-32		-18		-33		-30		-16		-30		-27		-16		-30		-30		-16		-27	

En la Tabla 3 se muestran los costos unitarios por metro cuadrado de edificación, los porcentajes de incidencias tanto de IPE como de costos sobre el caso base, y el índice CIPE. Se observa que los cambios en la materialidad del prototipo implican un aumento del costo de 26% para HCCA y un 27% para EPS respecto de la vivienda original. A la vez significa, en ambos casos, un cambio de categoría en la clase de etiqueta, pasando de F a E.

A los prototipos analizados HCCA y EPS se les reemplazaron las aberturas originales (aluminio línea “Herrero” con vidrio simple de 4 mm) por: aluminio línea “Móderna” (DVH 4-9-4) y PVC (DVH 4-9-4). Se analizó el impacto de estos cambios tanto en la variable IPE como en el costo final de cada vivienda.

Los resultados muestran que una mejora en las calidades de las aberturas repercute positivamente en el IPE (entre 23 y 37%) y a la vez un aumento de costo entre un 29 y 38% respecto del caso base. Esto evidencia el alto impacto de la materialidad de las aberturas, aun cuando el porcentaje de superficies vidriadas sobre las opacas es relativamente bajo (17 % frente y 22 % contrafrente). En particular la combinación de EPS con aberturas PVC (DVH 4-9-4) presenta una mejora que repercute en un cambio de etiqueta en dos categorías de IPE respecto al Caso Base (de F a D), con un aumento de costo del 38 %.

El índice CIPE permite evidenciar la relación costo-beneficio, tomando como beneficio la mejora en la eficiencia energética, mostrando que valores aparentemente altos en costos, pueden tener un alto impacto en la mejora en eficiencia energética.

Tabla 3: Valores de IPE y costos para los prototipos en sus diferentes variantes respecto de las aberturas.

MATERIALIDAD ENVOLVENTE	ABERTURAS	IPE		% INCIDENCIA IPE S/ CASO BASE	COSTO (\$/m <sup>2</sup> )	% INCIDENCIA COSTO S/ CASO BASE	CIPE
		kWh/m <sup>2</sup> año	CLASE				
<b>CASO BASE</b>	Aluminio Línea Herrero vidrio simple 4 mm	<b>239</b>	<b>F</b>		<b>\$ 71 158</b>		
<b>HCCA</b>	Aluminio Línea Herrero vidrio simple 4 mm	<b>214</b>	<b>E</b>	<b>-10</b>	<b>\$ 89 890</b>	<b>26</b>	<b>749</b>
<b>HCCA</b>	Aluminio Línea Módena + DVH 4-9-4	<b>184</b>	<b>E</b>	<b>-23</b>	<b>\$ 92 119</b>	<b>29</b>	<b>381</b>
<b>HCCA</b>	PVC + DVH 4-9-4	<b>170</b>	<b>E</b>	<b>-29</b>	<b>\$ 97 641</b>	<b>37</b>	<b>384</b>
<b>EPS</b>	Aluminio Línea Herrero vidrio simple 4 mm	<b>197</b>	<b>E</b>	<b>-18</b>	<b>\$ 90 110</b>	<b>27</b>	<b>451</b>
<b>EPS</b>	Aluminio Línea Módena + DVH 4-9-4	<b>170</b>	<b>E</b>	<b>-29</b>	<b>\$ 92 338</b>	<b>30</b>	<b>307</b>
<b>EPS</b>	PVC + DVH 4-9-4	<b>151</b>	<b>D</b>	<b>-37</b>	<b>\$ 97 860</b>	<b>38</b>	<b>303</b>

## CONCLUSIONES

Los prototipos en la posición del medio siempre presentan una mejor condición de IPE que los ubicados en los laterales, en todas las variantes estudiadas y en las cuatro orientaciones, debido al menor grado de exposición a la intemperie.

Se confirma a través de los valores obtenidos que la orientación Norte (orientación de los locales principales de la vivienda), resulta con un mejor valor de etiqueta para todas las variantes estudiadas.

La morfología de las viviendas en estudio presenta grandes superficies opacas en las medianeras. Esta condición hace que el impacto de las mejoras en el IPE, sea mayor en los prototipos laterales que en el central. Esta relación se mantiene en todas las orientaciones.

En el estudio realizado se muestra el alto impacto en el IPE ante el cambio de la materialidad de las aberturas, aun siendo un prototipo en donde la superficie vidriada de la envolvente es baja respecto de la superficie opaca (17% en el frente y 22 % en el contrafrente).

A la hora de diseñar una vivienda y analizar variantes sobre la misma, el indicador CIPE brinda una mayor información al combinar dos variables relevantes y que parecieran contrapuestas: obtener una mejor etiqueta implica un costo mayor. Se muestra que para una misma etiqueta el menor costo no es necesariamente la inversión más eficiente.

Los resultados del IPE y los costos de cada prototipo según su materialidad y su ubicación, podrían utilizarse a la hora de planificar las distribuciones de lotes para diseñar una urbanización. En una línea de viviendas agrupadas se podrían combinar diferentes materialidades para obtener, en promedio, un buen valor de IPE a un menor costo. Por ejemplo, en una línea de 8 unidades, sólo los dos extremos más expuestos se podrían construir con materialidades que permitan una mejor condición IPE a un costo mayor; y los 6 restantes con una materialidad de menor costo, pero su ubicación respecto a linderos permitiría obtener una buena condición IPE.

Sin embargo, cada sistema conlleva criterios y soluciones constructivas diferentes. Habría que analizar las compatibilidades para la vinculación entre las diferentes materialidades. A primera vista resultaría más factible combinar mampuestos de diferentes componentes (HCCA y ladrillo hueco cerámico), que

combinar una mampostería con panelería (EPS con malla metálica electrosoldada). Un tema para analizar a futuro.

Este análisis podría constituirse como una herramienta adicional en el diseño urbano del hábitat, sobre todo en los barrios de vivienda que ejecuta el Estado, atendiendo a la problemática energética y la posibilidad de mejorar la eficiencia, al analizar el conjunto habitacional y no solamente el análisis individual de cada prototipo.

## BIBLIOGRAFIA

- Azqueta P., (2014). “Manual práctico del aislamiento térmico en la construcción. EPS-Poliestireno expandido”. Asociación Argentina de Poliéstireno Expandido (AAPE), 1era edición.
- Cifras on line, (abril 2022). <https://www.cifrasonline.com.ar/costos/>
- CPT. Colegio profesional de maestros mayores de obra y técnicos de la Prov de Santa Fe. Distrito II. abril 2022. <https://www.cptros.org.ar/oficina-tecnica/>
- Etiquetado de vivienda, Secretaria de Energía de la Nación, (2020) [https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/#etiquetado\\_viviendas](https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/#etiquetado_viviendas)
- IEA. Informe Estadístico Anual del sector energético. (2021). Secretaría de Energía de la Nación. <http://datos.minem.gob.ar/dataset?groups=publicaciones>
- IRAM 11900 (2017). Prestaciones energéticas en viviendas. Método de Cálculo. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Ley provincial 13903 (2019). Poder Legislativo de la Provincia de Santa Fe. <https://www.santafe.gov.ar/normativa/item.php?id=213203&cod=d3275d4f218763e61a255605439155a8#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A%20ESTABLECE%20UN%20PROCEDIMIENTO%20DE,3524%3B%20Publicada%20en%20el%20B.O.>
- Mac Donnell, H., Polzinetti, M. D. (2020). Manual de soluciones para viviendas energéticamente eficientes ISBN 978-950-677-005-1

## IMPACT OF CONSTRUCTION SYSTEMS AND MATERIALS ON ENERGY EFFICIENCY AND THE FINAL COST OF SOCIAL INTEREST DWELLING.

**ABSTRACT.** The present work analyzes the economic impact and its relationship with the energy efficiency of three social dwelling prototypes built in the province of Santa Fe. The grouped DUPLEX prototype (Direction Provincial Office of Dwelling and Urban Planning of the Province of Santa Fe) was chosen, made up of three units located on the same lot. They were modeled using the BIM (Building Information Modeling) methodology, obtaining precise materials calculations to carry out the cost study of each dwelling. Each prototype was classified according to the procedure for calculating the Energy Performance Index (IPE) of the Secretary of Energy of the Nation. The influence of the different envelopes and orientations on the final cost of each dwelling was analyzed, comparing them with their energy performance for the bioclimatic zone to which the city of Rosario belongs. The indicator  $\Delta\$/\Delta\text{IPE}$  was proposed to study the cost-benefit relationship in the energy efficiency of the proposed improvements, concluding that for the same energy label, the lowest cost is not necessarily the most efficient investment. Therefore, it is proposed to use this indicator as one more tool for the urban design of the habitat, attending to energy problems and optimizing the use of available economic resources.

**Keywords:** energy efficiency, IPE, cost analysis.