

## **METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL REICLADO EDIFICIO RESIDENCIAL ORIENTADO A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: ÍNDICE DE ELASTICIDAD ENERGÉTICO-ECONÓMICO.**

**L. Rodríguez<sup>1</sup>, I. Martini<sup>2</sup>, C. Discoli<sup>2</sup>**

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC)  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)  
Calle 47 N°162, La Plata. C.P. 1900 – Provincia de Buenos Aires  
Tel. 0221-4236587/90 interno 250-31. E-mail: arqlucasgrodriuez@gmail.com

*Recibido: 09/08/12; Aceptado: 04/10/12*

**RESUMEN:** El presente trabajo plantea el desarrollo de una metodología para la sistematización de propuestas tecnológico-constructivas de reciclado edilicio de aplicación masiva, orientadas a la optimización energética de la envolvente en el parque residencial construido de la ciudad de La Plata, Argentina. Este estudio surge como medida de mitigación ante nuestra situación energética crítica y sus consecuencias ambientales. Para ello se plantea: 1) una metodología para la clasificación y evaluación del parque edilicio residencial existente; y 2) el desarrollo de un índice de eficiencia energético-económico. Se propone un ejemplo de aplicación sobre un caso tipológico representativo en nuestra área de estudio. Finalmente, se concluye que los avances en dicha metodología permiten minimizar significativamente la demanda en el consumo energético; y a partir del índice de elasticidad energético-económico se pudieron identificar alternativas óptimas de reciclado, facilitando el rápido reconocimiento de las tecnologías más eficientes.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, índice de elasticidad energético-económico, reciclado edilicio-residencial.

### **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo se desarrolla en el marco de la Beca de Postgrado Tipo 1 CONICET<sup>3</sup>; la tesis de Doctorado en Ciencias, Área Energías Renovables (Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta)<sup>4</sup>; y el Proyecto de Investigación Plurianual (PIP) CONICET (Discoli, PIP 097 2012-2014). Estas investigaciones surgen como respuesta de mitigación necesaria ante las bajas calidades térmicas en la edificación existente, la crisis energética vigente y sus consecuencias ambientales. Sus objetivos se centran en la evaluación y propuesta de acciones e innovaciones proyectuales y tecnológicas, tendientes al reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial existente; y a la aplicación de técnicas apropiadas de “diseño pasivo”; como aporte hacia una mayor eficiencia en el consumo energético, con su consecuente mejora en las condiciones de confort interior.

En relación a esta temática, destacamos las recientes acciones promovidas por el gobierno Nacional en el marco de interés y prioridad del uso racional y eficiente de la energía, establecido en el Decreto 140/2007. Como así también destacamos la reglamentación de la ley N° 13059 para la provincia de Buenos Aires, cuya finalidad es la de establecer y exigir condiciones mínimas de acondicionamiento térmico para contribuir a una mejora en la calidad de vida de la población; a partir de minimizar la demanda energética y disminuir el impacto ambiental a través del uso eficiente de la energía<sup>5</sup>. Por otro lado, resulta importante destacar que el parque residencial existente constituye una incidencia significativa en la matriz energética nacional, con un consumo actual mayor al 23% del total del país (B.E.N. 2010). De esta demanda, el 50% está destinada a climatización (Rosenfeld, 1993. Evans, 2005). Es por ello que se considera fundamental actuar sobre este sector, minimizando el uso de energía por medio de la implementación masiva de técnicas de reciclado con envolventes más eficientes. Esto permite una mejora sustantiva de habitabilidad edilicia y una reestructuración a futuro de la ecuación energética del sector reduciendo la demanda. Esta situación es imperativa, ya que a medida que avanza el siglo, la sustentabilidad energética y ambiental de nuestras ciudades se torna más crítica.

En función de esta problemática, se trabaja en una metodología que aborde propuestas tecnológico-constructivas de mejoramiento energético integrales para las diferentes unidades edilicias residenciales (clasificadas en tipologías representativas), a través del tratamiento de los elementos constitutivos de la envolvente edilicia existente. El estudio pormenorizado nos permite la evaluación en las diferentes escalas: los elementos de la envolvente, las diversas tipologías edilicias, los mosaicos urbanos, para finalmente evaluar su incidencia a nivel de ciudad (Fig. 1). A continuación, se desarrolla la metodología de evaluación propuesta para abordar nuestra área de estudio, la ciudad de La Plata.

---

<sup>1</sup> Becario Tipo 1 CONICET

<sup>2</sup> Investigador CONICET

<sup>3</sup> Beca PGT1 “*Mejoramiento de las condiciones energéticas y de habitabilidad a partir de la aplicación del Passive House Retrofit. Desarrollo y ensayo de tecnologías constructivas aplicables al sector residencial*”. Director: Dr. Carlos Discoli; Co-director: Dra. Irene Martini.

<sup>4</sup> Titulada “*Evaluación energética y propuestas tecnológico-constructivas para el reciclado de la envolvente edilicia residencial*”. Director: Dr. Carlos Discoli; Co-director: Dra. Silvana Flores Larsen.

<sup>5</sup> A tal efecto serán de aplicación obligatoria las normas técnicas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) referidas al acondicionamiento térmico de edificios y ventanas, en su edición más reciente.



Figura 1: Escalas de abordaje de la propuesta.

## METODOLOGÍA PARA LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PARQUE EDIFICIO RESIDENCIAL EXISTENTE.

Este punto presenta una aproximación al estudio y clasificación del parque edilicio residencial existente de La Plata a partir de una clasificación morfológica y tecnológico-constructiva, de los elementos de la envolvente y sus encuentros. Se construyen fichas que sintetizan y sistematizan las principales variables de cada tipología. Se seleccionan casos representativos para su evaluación térmica y económica a los que se le aplican las propuestas tecnológico-constructivas de reciclado masivo (Rodríguez, 2012). Esto nos permitirá construir un índice de eficiencia el cual denominamos “índice de elasticidad energético-económico” ( $I_E$ ), que nos orienta en la selección de las mejores opciones de intervención.

### Estudio y clasificación del parque residencial existente de La Plata

El sector residencial de la ciudad de La Plata, ha sido clasificado a partir de la delimitación de las unidades de análisis (Rodríguez, 2011). Su definición se ha realizado según estrategias de alta representatividad, recurriendo a dos niveles básicos como herramientas de selección: i) *clasificación morfológica* y ii) *clasificación tecnológico-constructiva*. A su vez, se propuso la interrelación de ambas clasificaciones mediante la desagregación de los iii) *elementos de las envolventes y sus encuentros* o uniones, en vistas a una implementación sistemática para las propuestas de reciclado.

i) *Clasificación morfológica*: Para la identificación y delimitación del objeto de estudio a nivel morfológico se adopta el criterio de tipología<sup>6</sup> (Rosenfeld, 1988. De Rosa, 1989), cuya ventaja fundamental radica en su capacidad de síntesis y reconocimiento contextual. Este abordaje nos permite incluir las 260000 viviendas existentes en La Plata en un número reducido de unidades representativas, reconocidas con gran facilidad tanto por los profesionales en el tema como por las personas no especializadas.

Por lo tanto se adoptó y avanzó en la clasificación desarrollada en el proyecto AUDIBAIRES (Rosenfeld et al., 1988). A partir de ello, se detectaron 7 tipologías morfológicas representativas para La Plata (Fig. 2): *casa chorizo*; *casa de renta* (pasillo, cuatro puertas, en altura); *chalet californiano*; *casa racionalista*; *casa cajón* (de iniciativa privada o estatal); bloque bajo o *monobloque* (en dúplex o simples apilados); *edificio PH en altura* (entre medianeras, torre, placa).



Figura 2: Tipologías residenciales platenses.

ii) *Clasificación tecnológico-constructiva*: En cuanto a la clasificación a nivel tecnológico-constructivo, se han reconocido dos grandes grupos. Por un lado se encuentra la producción de tipo artesanal regida por procedimientos desarrollados en obra, la cual denominamos *construcción húmeda*, también llamada *construcción pesada*, *convencional* o *tradicional*. Por otro lado,

<sup>6</sup> El “tipo” es entendido como la esencia del objeto, arquitectónico en nuestro caso, en cuya determinación se deben eliminar los caracteres específicos y conservar solo los elementos que aparecen en todas las unidades de una serie dada.

se reconoce la producción de fuerte tendencia hacia la mecanización seriada e industrialización de los procesos productivos, la cual denominamos *construcción* (de montaje) *en seco*, también llamada *no tradicional*, mayormente constituida por *sistemas livianos*. A su vez entre la producción artesanal y la mecanizada se reconocen procesos mixtos que rescatan las ventajas de ambas. Estos últimos dos tipos de producción (en seco y mixta) no son empleados mayormente en nuestro país; detectando un predominio absoluto de los sistemas de construcción húmeda, verificado en el total de las tipologías representativas seleccionadas.

iii) *Elementos de las envolventes y sus encuentros*: Para profundizar en la clasificación morfológica y tecnológico-constructiva de las tipologías edilicias existentes, se plantea desagregarlas en unidades menores, proponiendo el desglose de los componentes de sus envolventes (Fig. 3). De esta manera, se definieron las variantes detectadas en sus tres elementos principales tales como muros, cubiertas y aberturas, y sus distintos encuentros:

a) Para el elemento muro se destacan casi con exclusividad los compuestos por ladrillo cerámicos macizo (o “ladrillo común”) y los de bloques cerámicos huecos no portantes, revocados en ambas caras; son de menor representatividad los muros con bloques cerámicos portantes, con bloques de hormigón, y los muros dobles con cámara de aire.

b) En cuanto al elemento cubierta se dividen en inclinadas destacándose principalmente las de chapa ondulada de hierro galvanizado, ampliado también a techos de teja cerámica tipo francesa y colonial, y de pizarra. Por otro lado se encuentran las cubiertas planas, siendo más relevantes las de losa llena, con elementos pretensados y losas alivianadas. Cada una de estas opciones cuentan en su mayoría con cielorraso suspendido.

c) Con respecto a las aberturas, se clasifican según material y según sistema: Madera, Chapa doblada de hierro, aluminio, PVC. De tipo abatible, corrediza, ventiliz, banderola, o paño fijo. Son menos frecuentes las carpinterías de tipo Desplazable, oscilobatiente, guillotina o libro.

d) A partir del análisis de los elementos de la envolvente se identificaron 3 tipos de uniones o encuentros principales, los cuales se pueden sintetizar en:

*Cubierta con muro*. Con las opciones posibles de cubierta plana con carga, cubierta inclinada con carga, cubierta inclinada con canaleta embutida y cubierta inclinada con caída libre sin y con alero.

*Muro con aberturas*. Con las opciones de encuentro de taparrollo de persiana, carpintería y dintel americano, y carpintería y alfeizar de revoque o de hormigón armado revocado.

*Puntos críticos*. Otros encuentros constructivos significativos son los denominados “puntos críticos” en el cual se destacan las fundaciones en encuentro con las aberturas y muros, las columnas, losas, vigas, encadenados y alfeizares de hormigón armado y el taparrollos.

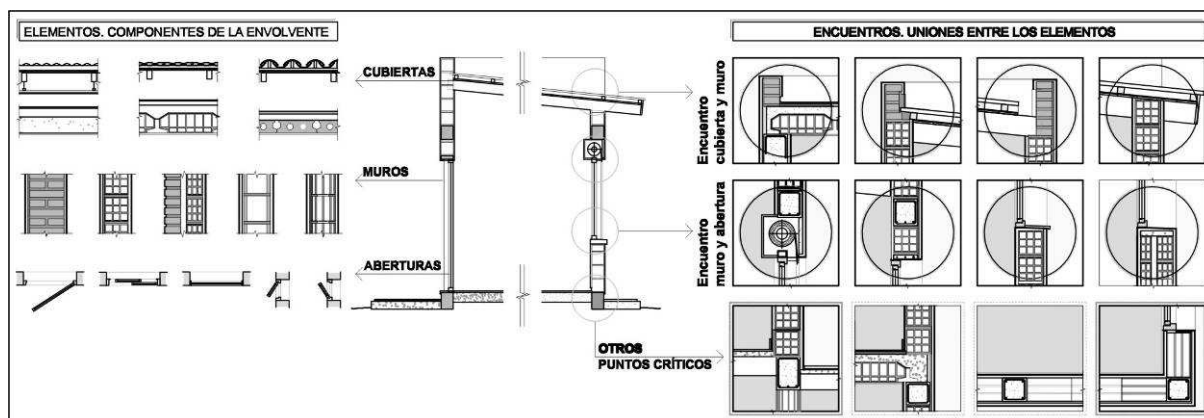


Figura 3: Síntesis gráfica de los componentes de las envolventes.

*Evaluación térmica y económica de las propuestas tecnológico-constructivas de reciclado masivo.*

Una vez clasificado y evaluado el parque edilicio residencial existente, se plantea: i) la evaluación de calidad térmica; y ii) los consumos energéticos y los costos económicos asociados a las distintas propuestas de reciclado.

i) *Evaluación de calidad térmica de la edilicia existente*: Para evaluar y establecer patrones de calidad térmica constructiva, que aseguren condiciones mínimas de eficiencia energética y habitabilidad, se adoptan los valores exigidos por la Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires. Los mismos se explicitan en las normas técnicas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) referidas al acondicionamiento térmico de edificios. Estas exigen el cumplimiento de los valores máximos admisibles de transmitancia térmica (K) para los componentes opacos de la envolvente (muros y techos, evaluados para condición de invierno y verano) establecidos para los niveles A o B de IRAM 11605 (1996); y el cumplimiento del valor admisible del coeficiente global de pérdidas térmicas (G) según IRAM 11604 (2001).

Teniendo en cuenta los valores exigidos por la Norma, se plantea la construcción de alternativas de mejoramiento para cada referente edilicio-tecnológico seleccionado; las cuales son sistematizadas y sintetizadas en fichas interactivas relacionadas

con el sistema de cálculo (Fig. 4 y 5). El sistema desarrollado facilita la carga de información, el ajuste y/o la posibilidad de realizar modificaciones en forma dinámica en el estudio de variantes o ejemplos particularizados con el objeto de seleccionar las alternativas más favorables para cada situación.

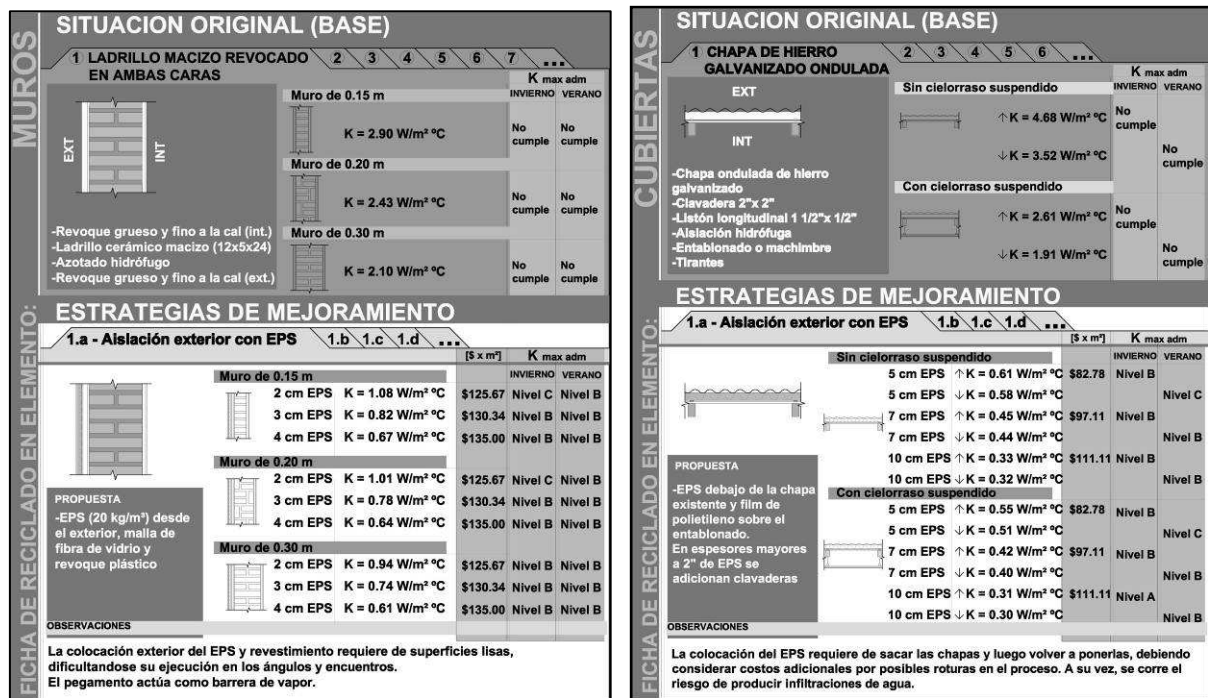


Figura 4 y 5: Fichas de los componentes MURO y CUBIERTA.

ii) *Evaluación de los consumos energéticos y los costos económicos*: Para la estimación de los consumos energéticos tanto para las viviendas en estado original como mejoradas se emplea el análisis a partir de la Carga Térmica (Q) según IRAM 11604 (2001), en estado estacionario. A su vez se prevé que las auditorías energéticas sean complementadas mediante métodos de simulación dinámica por computadora<sup>7</sup>, a los fines de considerar no solo las demandas energéticas sino también las ganancias directas e indirectas.

La amplia variedad de alternativas tecnológico-constructivas de reciclado edilicio para cada elemento de la envolvente nos determinó la necesidad de generar índices como herramienta complementaria para la instrumentación del método de análisis y selección. Este índice nos permitirá evaluar cada sistema propuesto en la relación entre el ahorro energético logrado (costo operativo<sup>8</sup>) y la inversión realizada (costo inicial<sup>9</sup>); con el fin de ser clasificadas según grado de eficiencia con respecto al costo-beneficio. Se plantea de esta manera trabajar con la relación entre la energía consumida y el costo total requerido para cada alternativa de mejoramiento.

## DESARROLLO DE UN INDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICO-ECONÓMICA: EL ÍNDICE DE ELASTICIDAD

A partir de la necesidad de desarrollar un índice de eficiencia energético-económica, se plantea la construcción del “índice de elasticidad energético-económico”, el cual sintetiza la relación entre el consumo energético y el costo económico ( $\Delta E / \Delta \$$ ), en función del tiempo de amortización de la inversión. La fórmula inicial planteada incluye el flujo de energía durante una hora en un metro cuadrado, para una variación de temperatura de 1 °C; en relación al costo en pesos argentinos:

$$I_E = (K_0 - K_i) / CII \quad (1)$$

Donde  $I_E$ : es el índice de elasticidad energético-económico, en W/m<sup>2</sup> °C \$;  
 $K_0$ : es el valor de transmitancia térmica de la situación original, en W/m<sup>2</sup> °C;  
 $K_i$ : es el valor de transmitancia térmica de la opción tecnológico-constructiva adoptada, en W/m<sup>2</sup> °C;  
 CII: es el Costo Inicial de Inversión necesario para la aplicación de las mejoras tecnológico-constructivas, en \$.

Los valores obtenidos mediante esta fórmula son normalizados entre 0 y 1 (0 para la situación más desfavorable; 1 para la más favorable), a los fines de facilitar la comparación y elección de las distintas propuestas tecnológico-constructivas.

<sup>7</sup> Se considera implementar el programa *Energy Plus* (Departamento de Energía de los Estados Unidos -DOE-) y se prevé el empleo de *HEAT* (Universidad de Lund, Suecia).

<sup>8</sup> *costo operativo*: costo destinado a pagar el combustible en relación al consumo energético estimado, tanto para el estado original como para el mejorado.

<sup>9</sup> *costo inicial de inversión*: es el costo necesario para el reciclado; incluyendo el material aislante, la protección mecánica, terminaciones, y la mano de obra.

Los datos necesarios para el cálculo del índice de elasticidad energético-económico se obtienen de las fichas de reciclado (Fig. 4 y 5), las cuales contienen los valores de transmitancia térmica de la situación original ( $K_o$ ) y de las propuesta de mejoramiento ( $K_i$ ); como también contienen el costo de inversión inicial por  $m^2$  necesario para cada propuesta (CII), calculado como la suma de los costos de los materiales y de la mano de obra.

Una vez calculados y normalizados los  $I_E$  para cada una de las propuestas tecnológico-constructivas, se incorporan a las fichas de reciclado de los elementos de la envolvente (Fig. 6). A modo de ejemplo se muestra la opción del componente MURO previamente presentada (Fig. 4), para distintos espesores de EPS sobre la base del muro de ladrillo cerámico macizo de 0.20m. Esta metodología es aplicada a cada una de las propuestas planteadas, para su posterior comparación.

SITUACION ORIGINAL (BASE)									
① LADRILLO MACIZO REVOCADO EN AMBAS CARAS									
Muro de 0.20 m									
$K_o = 2.43 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$									
$K_{\text{max adm}}$									
INVIERNO VERANO									
No cumple No cumple									
ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO									
1.a - Aislación exterior con EPS									
Muro de 0.20 m									
CII									
K max adm									
INVIERNO VERANO									
VALORES del INDICE de ELASTICIDAD									
$K_o - K_i$									
CII/1000									
Indice de ELASTICIDAD NORMALIZADO									
1 cm EPS	$K_i = 1.41 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$121.01	Nivel C	Nivel C	8.43	0.00			
2 cm EPS	$K_i = 1.01 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$125.67	Nivel C	Nivel B	11.30	0.56			
3 cm EPS	$K_i = 0.78 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$130.34	Nivel B	Nivel B	12.66	0.82			
4 cm EPS	$K_i = 0.64 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$135.00	Nivel B	Nivel B	13.26	0.94			
5 cm EPS	$K_i = 0.54 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$139.66	Nivel B	Nivel B	13.53	0.99			
6 cm EPS	$K_i = 0.47 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$144.32	Nivel B	Nivel A	13.58	1.00			
7 cm EPS	$K_i = 0.41 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$148.98	Nivel B	Nivel A	13.56	1.00			
8 cm EPS	$K_i = 0.37 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$153.64	Nivel A	Nivel A	13.41	0.97			
9 cm EPS	$K_i = 0.33 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	\$158.30	Nivel A	Nivel A	13.27	0.94			

**PROPUESTA de RECICLADO**  
-EPS (20 kg/m<sup>3</sup>) desde el exterior, malla de fibra de vidrio y revoque plástico

**OBSERVACIONES**  
La colocación exterior del EPS y revestimiento requiere de superficies lisas, dificultandose su ejecución en los ángulos y encuentros.  
El pegamento actúa como barrera de vapor.

Figura 6: Fichas de componente MURO para el espesor 0.20m con el índice de elasticidad energético-económico.

Para una mejor visualización de los resultados obtenidos y para una rápida comparación y/o contrastación de las distintas propuestas tecnológicas constructivas, la figura 7 sintetiza los valores resultantes del cálculo del  $I_E$  en forma disgregada, a los fines de analizar su comportamiento respecto de la incorporación de mayores espesores de aislación de EPS.

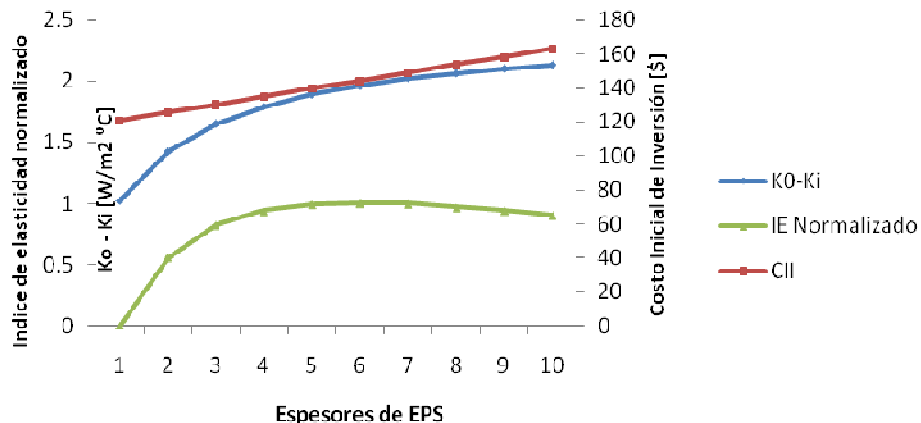


Figura 7: Índice de elasticidad energético-económico ( $I_E$ ) y su relación con los valores de transmitancia térmica ( $K_o - K_i$ ) y el costo inicial de la inversión (CII).

La fig. 7 nos permite determinar cuales son los espesores de aislación mínimos a emplear; como así también determinar a partir de cuándo tanto la incorporación de aislación como la inversión deja de brindar ahorros significativos. En este caso, el rango de valores óptimos se ubica aproximadamente entre los 4 cm y los 7 cm de EPS. Dicha visualización nos permite



establecer rangos fundamentados de intervención, estableciendo con precisión las consecuencias energéticas y económicas de las tecnologías seleccionadas.

El siguiente paso consiste en analizar el comportamiento de la tecnología propuesta para cada alternativa por  $m^2$  de superficie en función de un determinado tiempo (40 años) (Fig. 8). Para este trabajo, a modo de ejemplo, se plantea analizar el costo acumulado (costo inicial de inversión + costo operativo) para la evaluación de las propuestas de mejoramiento del elemento MURO (Fig. 6) en los espesores de 1cm, 4cm, 6cm y 9cm de EPS, cuyos valores de  $I_E$  son de 0.00, 0.94, 1.00 y 0.94 respectivamente. Los criterios para su elección se deben a:

- 1cm, para corroborar que el valor 0.00 del  $I_E$  manifiesta el caso más desfavorable dentro de las opciones propuestas, pero igualmente representa una mejora frente a la condición original;
- 4 y 9cm, por ser valores iguales de  $I_E$  (0.94), próximos al más favorable, lo cual nos permite comparar ventajas y desventajas de uno sobre el otro; como así también sus diferencias frente al óptimo.
- 6cm, por ser el valor más favorable ( $I_E = 1.00$ ).

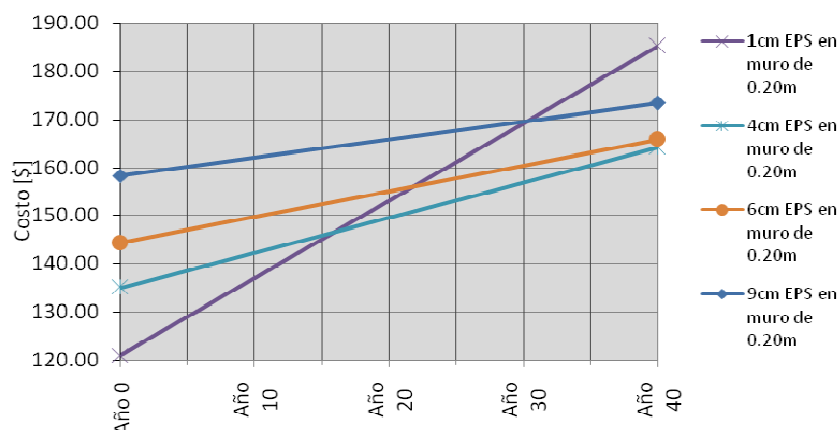


Figura 8: Curvas de costos en función del tiempo, para opciones tecnológico-constructivas del elemento MURO por  $m^2$

La fig. 8 muestra que un mayor costo inicial de inversión no siempre representa un mayor beneficio económico. En este caso se puede observar que para un tiempo establecido en 40 años, la opción que presenta un mayor ahorro unitario es la de 4cm de EPS, tecnología presente en un rango medio de costo inicial.

Por lo tanto, si bien la opción que presenta el valor más alto del índice de elasticidad energético-económico es la de 6cm de EPS ( $I_E = 1$ ), la opción de 4cm ( $I_E = 0.94$ ) es altamente eficiente desde la relación  $\Delta E / \Delta \$$ . Presentando como ventaja adicional una mayor facilidad constructiva. En el caso de la opción de 9cm de EPS ( $I_E = 0.94$ ), si bien el valor del índice coincide con el espesor de 4cm, advertimos que los costos son más altos.

Una vez analizadas las distintas alternativas tecnológicas de mejoramiento, el paso siguiente consiste en aplicar la metodología de evaluación propuesta sobre un ejemplo edilicio existente para nuestra área de estudio. Este paso se entiende como necesario a los fines de verificar la eficacia metodológica propuesta y corroborar si las ventajas analizadas por  $m^2$  en las mejoras tecnológico-constructivas se verifican cuando son aplicadas sobre una unidad edilicia<sup>10</sup>.

#### Ejemplo de aplicación

Es importante recordar que la metodología de evaluación propuesta es aplicable a la edificación de las diferentes regiones del país y fácilmente extensible a otras regiones. El universo de análisis establecido para nuestra investigación se corresponde con la edificación residencial de la ciudad de La Plata, considerando su diversidad tipológica-constructiva con sus variables térmico-constructivas específicas de la envolvente. En este encuadre, evaluaremos una vivienda correspondiente a una tipología edilicia de importante incidencia en nuestro contexto: la casa cajón (Tabla 1). Por tratarse de un ejemplo de aplicación, las estrategias de mejoramiento que se aplican corresponden solamente al reciclado del elemento “muro”, manteniendo los elementos “cubierta” y “aberturas” en su condición original; las incorporaciones de aislación se realizan desde el exterior en espesores de 1, 4, 6 y 9 cm de EPS acorde a la propuesta tecnológico-constructiva sintetizada en la ficha presentada (fig. 6).

<sup>10</sup> la cual incorpora en el cálculo de sus cargas térmicas la relación de las superficies de la envolvente con el volumen del edificio, como así también las pérdidas por infiltración de aire

CARACTERÍSTICAS DE LA CASA CAJÓN	
Superficie	73.20 m <sup>2</sup> de superficie interior
Volumen	241.50 m <sup>3</sup> de volumen interior
<b>Tecnología constructiva de la envolvente</b>	
MURO	Muros con fundación de zapata ladrillera. Mampostería portante de ladrillo cerámico macizo de espesor 0.20 m. Terminaciones exteriores con azotado hidrófugo, revoque grueso y fino a la cal fratazado. Terminaciones interiores de fino a la cal fratazado.
CUBIERTA	Cubierta de chapa ondulada en pendiente de 10%. Chapa de h° G°, alf. 2"x2", capa de barro, tabla 1/2" x 12", tirantes 2" x 6". Cielorraso suspendido de yeso sobre estructura resistente con metal desplegado.
ABERTURA	Carpinterías de madera, con marcos macizos y vidrio simple de 4mm. Cortina de enrollar de madera.

Tabla 1: Características de la tipología de "casa cajón" adoptada.

#### Evaluación de los consumos energéticos y los costos económicos para la casa cajón

Para el cálculo de los consumos energéticos por demanda de calefacción adoptamos una temperatura base de 20°. Como fuente de energía empleamos calefactores a gas natural de tipo tiro balanceado, por ser el equipo predominante tanto en el área de estudio como en Argentina (Juanicó, 2007), utilizado en el 85% de los hogares conectados a la red de gas natural. Cabe aclarar que en esta instancia no se considera el costo para refrigeración, ya que la ciudad de La Plata requiere no más de 35 Grados Día, para una temperatura base de 27 °C. Por lo tanto para el desarrollo metodológico, si bien puede ser considerado, en este caso no se estimó relevante en la incidencia de la demanda de enfriamiento para verano. A su vez, entendemos que las propuestas tecnológicas aplicadas minimizan la demanda energética en las diferentes estacionalidades.

La tabla 2 presenta los valores de energía auxiliar para la opción original y las 4 propuestas de reciclado, como carga térmica y como consumo de gas natural anual; siendo afectada por el rendimiento de los calefactores (estimado en el orden del 50%).

Carga térmica de calefacción anual "Q" para temperatura base de 20°C					
	ORIGINAL	1cm EPS	4cm EPS	6cm EPS	9cm EPS
Carga térmica en KJ	84690898.29	77388549.05	70200214.62	68613179.74	67306209.85
Consumo de GN [m <sup>3</sup> ] <sup>11</sup>	<b>4335.85</b>	<b>3962.00</b>	<b>3593.98</b>	<b>3512.73</b>	<b>3445.82</b>

Tabla 2: Comparación entre cargas térmicas de calefacción.

Según las cargas térmicas estimadas, se detectan reducciones de consumo de 8.62% para la propuesta de 1cm de EPS; 17.11% para la propuesta de 4cm de EPS; 18.98% para 6cm de EPS; y 20.53% para la propuesta de 9cm de EPS.

Para la evaluación de los costos económicos de la casa cajón, se analiza en la fig. 9 el costo acumulado (costo inicial de inversión + costo operativo) para las propuestas de mejoramiento seleccionadas; como así también se grafica el consumo operativo de la situación original.

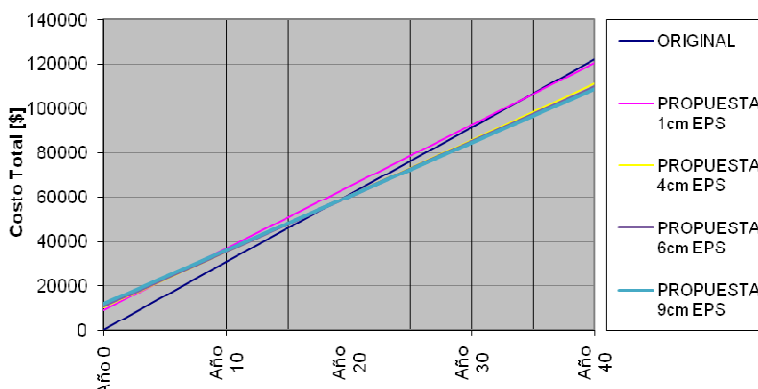


Figura 9: Gráfico de curvas de costos de las opciones tecnológico-constructivas en la casa cajón.

<sup>11</sup> Se considera una equivalencia de 1m<sup>3</sup> GN = 9300 kCal = 38130 KJ.

El combustible de Gas Natural (GN) se estima en  $\$0.52/\text{m}^3 + 35\%$  de impuestos; el cual fue calculado como el valor medio entre el costo con subsidio y el costo del GN importado, para la categoría residencial<sup>12</sup> con consumos mayores a  $1500\text{m}^2$ .

Según la evaluación de los costos expresada en la fig. 9, la propuesta de 1cm de EPS se amortiza en un período aproximado de 35 años; mientras que las propuestas de 4, 6 y 9 cm de EPS se amortizan entre los 18 y 19 años. Por lo tanto, se detecta que a partir de los 4cm de EPS los beneficios obtenidos en la implementación de mayores espesores son similares. De esta manera verificamos que hay un rango determinado de valores del  $I_E$  eficientes (ubicado entre 0.94 y 1.00) en donde la elección de la opción tecnológico-constructiva a aplicar no depende rigurosamente del costo y el consumo sino también de otros factores como la disponibilidad, la ejecución, o las condiciones de habitabilidad pretendidas.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo aporta los primeros lineamientos de una metodología de evaluación para la selección de estrategias tecnológico-constructivas, para la reducción del consumo energético residencial existente y para el mejoramiento de la habitabilidad interior, sistematizando tanto la aplicación para cada vivienda en particular como su reproducción a escala masiva, lo que brindaría un beneficio considerable en la matriz energética nacional. Por lo tanto se plantea como acción necesaria el reciclaje masivo para la optimización de las envolventes existentes, comprendiendo que el costo de inversión inicial se amortiza en: i. un mejoramiento inmediato en las condiciones de habitabilidad; ii. un menor costo operativo durante la vida útil del edificio y iii. una disminución en la inversión inicial por la posibilidad de instalar equipos de menor potencia.

Para ello, entendemos que el trabajo propuesto produce un aporte importante en la instrumentación de la metodología para establecer criterios de selección de estrategias tecnológico-constructivas de reciclado, potenciando su aplicación en forma sistemática y masiva a escala de ciudad. La viabilidad de las opciones tecnológicas se fundamenta en la interrelación entre las condiciones de habitabilidad pretendidas, condicionantes prácticas contextuales y la relación entre los ahorros logrados y los costos para tales fines. Por lo tanto, el presente trabajo desarrolla un "índice de elasticidad" que pretende facilitar dicha elección, determinando un orden jerárquico de eficiencia energético-económica.

A modo de síntesis en cuanto al ejemplo de aplicación, reconocemos un rango determinado de espesores de aislación en donde la incorporación de mayores espesores no promociona un ahorro significativo. Es ahí donde la metodología propuesta y el índice de elasticidad energético-económico nos permite una rápida verificación. Dicha sistematización presenta opciones de reciclado viables dentro de un rango de eficiencia que relaciona energía y costos, ayudando así a la mejor elección de las estrategias tecnológico-constructivas de aplicación masiva.

## REFERENCIAS

- Balance Energético Nacional 2010. Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal, Inversión pública y servicios. Argentina. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>. Visto marzo, 2012.
- De Rosa, Carlos (1989). Vivienda social. Déficit habitacional y habitabilidad higrotérmica. Evaluación y propuesta para su comportamiento en la pcia de Mendoza. Proyecto de investigación y Desarrollo N° 3-094000/88. Doc.inédito, pp. 7, 8.
- Discoli, C. et al. (2012-2014) Desarrollo de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial orientado al uso racional y eficiente de la energía en áreas urbanas. PIP 112-01101-00097. CONICET. 2012/2014.
- Evans, J. M. (2005). "Energía en el hábitat construido: panorama en Argentina". En libro: Los edificios bioclimáticos en los países de Ibero América. Libro de ponencias del seminario. Lisboa: Helder Gonçalves editor, pp. 100.
- Instituto Argentina de Normalización y Certificación (IRAM). Normas Técnicas Argentinas: 11601 (2004); 11603 (1996); 11604 (2004); 11605 (2002). Buenos Aires, Argentina.
- Rosenfeld et al. (1988) Plan piloto de Evaluaciones energéticas de la zona Capital Federal y Gran Bs As. AUDIBAIRES. Concurso Nacional organizado por la CIC y Secretaría de Energía de la Nación. Contrato SE N1 1399/83.
- Rosenfeld, E. et al. (1993). Mejoramiento de las Condiciones Energéticas y de Habitabilidad del Hábitat Bonaerense. CONICET Expte: 03662/89; Legajo: 306590088. IDEHAB. FAU. UNLP.
- Rodriguez L., Martini I., Discoli C. (2011). *Estudio de estrategias tecnológico-constructivas para el reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial, orientado a la eficiencia energética*. En Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. ASADES. ISSN 0329-5184. Volumen 15, pp. 35-39.
- Rodriguez L., Martini I., Discoli C. (2012). *Propuesta de sistematización para el reciclado edilicio residencial masivo en el marco del uso eficiente de la energía*. I Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana, 2012. Universidad Nacional de General Sarmiento. ISBN 978-987-28177-1-8. 1ra. Ed. Pp. 1828-1840.

**ABSTRACT:** This paper proposes the development of a methodology for the systematization of technological-constructive proposals of building recycling for massive application, aimed at energy optimization of existing housing envelopes in the city of La Plata, Argentina. This study comes as a mitigation measure against the current energy crisis and its environmental consequences. With this propose, we present: 1) a methodology for the classification and evaluation of existing housing; and 2) the development of an energetic-economic efficiency index. We propose an application example on a representative typology in our study area. Finally, we conclude that the advances in this methodology allow minimizing significantly the demand on energy consumption. With the use of energy-economic elasticity index we were able to identify optimum recycling alternatives, providing a quick recognition of the most efficient technologies.

**Keywords:** Energy efficiency; energy-economic elasticity index; building recycling.

<sup>12</sup> <http://www.camuzzigas.com/clientes-residenciales.php>. Visto 05/07/2012.