



Barreras y oportunidades observadas en la incorporación de estándares de alta eficiencia energética en la vivienda social chilena

Barriers and opportunities observed in the incorporation of high energy efficiency standards in chilean social housing

Paulina Wegertseder, Denisse Schmidt, Tobias Hatt, Gerardo Saelzer
y Ricardo Hempel

RESUMEN: Este artículo expone las barreras y oportunidades observadas en el proceso de diseño de la vivienda social, en la zona centro sur de Chile, a partir de la incorporación de estándares de alta eficiencia energética. La metodología de trabajo se basa en el diseño integrado, donde convergen profesionales investigadores del proyecto FONDEF, D09I1081 “Desarrollo e introducción del sistema de edificación pasiva en Chile” y profesionales del área vivienda de la fundación “Techo”. Se desarrolla un estudio propositivo basado en un caso de vivienda social, sobre el cual se generan mejoras con el fin de alcanzar los valores de un estándar altamente eficiente, permitiendo ahorrar hasta un 80 % de energía. Se registra el proceso de diseño integrado, donde es posible distinguir condicionantes de la aplicación de la problemática, traducida en Barreras y Oportunidades que nacen a partir de ellas. Las conclusiones permiten identificar las principales implicaciones de la incorporación de estos estándares a la vivienda social.

PALABRAS CLAVE: vivienda social, estándar, eficiencia energética, barreras, oportunidades.

ABSTRACT: This article discusses the barriers and opportunities observed in the design process of social housing in south-central Chile, from the incorporation of energy-efficient standards. The methodology is based on an integrated design, which joins professionals from the FONDEF project D09I1081 “Development and introduction of passive building in Chile” and the foundation “Techo” together. It developed a purposeful research base on a social housing as a case study. Different improvements are generated in order to achieve the values of a highly energy efficient standard, which is able to save up to 80% of energy consumption. The process of the integrated design is registered to perceive the problems of the application. Finally, those landmarks are turn into Barriers and Opportunities. The conclusions identify the main implications of high-energy efficiency standards incorporation in Chilean social housing.

KEYWORDS: social housing, standard, energy efficiency, barriers, opportunities.

Introducción

A nivel mundial los edificios son una de las principales fuentes de demandas energéticas y productores de grandes emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. El sector residencial es responsable del 40 % de esas emisiones que recibe el planeta y en una vivienda tipo, la calefacción implica entre 40 y 60 % del consumo energético medio [1]. El consumo de energía para calefacción y refrigeración, durante la vida útil de los edificios, es el factor más influyente en el impacto medioambiental de los edificios [2].

Ciertas fuentes de energía son agotables y al mismo tiempo, necesarias para el desarrollo de la sociedad, sobre todo en Chile, que presenta dependencia energética externa. Motivos como estos incitan a asegurar un óptimo uso de los recursos energéticos, utilizando menos energía, pero sin sacrificar el confort ni la actividad económica [3]. La demanda energética en Chile ha mostrado un crecimiento sostenido desde las década de los 90 [4], y actualmente el sector residencial es el responsable del 23 % del consumo energético nacional [5].

Para el último censo [6], se determina que la mitad de la población en Chile tiene un ingreso mensual promedio inferior a US\$ 238, donde el 20% de ellos están catalogados en situación de pobreza en el país. De estas personas, es casi nula la cantidad de ingresos económicos destinados a calefacción en la vivienda, permitiendo concluir, que son muchas familias que viven bajo la línea de la "pobreza energética" (en inglés: fuel poverty). Según el autor Hong [7], este tipo de pobreza es causada por una combinación basado en bajos ingresos y altos costos de energía, además de la ausencia de eficiencia energética y/o mala calidad de la envolvente térmica de la vivienda.

En relación con la energía en la vivienda social, las fluctuaciones de precios en el mercado de gas al por mayor y de la electricidad, durante los últimos años han provocado inestabilidades en el presupuesto familiar, afectando en mayor medida al sector más vulnerable. Personas que, en su mayoría, suelen habitar viviendas sociales que no fueron construidas con objetivos de calidad energético-ambiental, sino con objetivos claros de poder satisfacer la necesidad de vivienda para personas que carecían de ella. La vivienda social se ajusta a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción, haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares esperados de confort interior.

De manera concreta, la energía alternativa más barata es la que no se usa. Por este motivo, el objetivo principal de la eficiencia energética es el de minimizar el consumo de recursos energéticos en distintos desempeños asociados a los edificios: climatización, iluminación, equipamiento, etc. Para poder alcanzar dicha eficiencia energética y la optimización del uso de recursos "no renovables", se debe dar el primer paso como sociedad y desarrollar mejoras y propuestas que atiendan problemáticas como: envolventes térmicas e higrotérmicas, tasas de infiltración de aire, caudales mínimos de ventilación, ganancias solares, entre otros [8].

Países, usados como referencia, han establecido estándares de alto desempeño energético y certificaciones de eficiencia energética, que mejoran las condiciones de habitabilidad en la vivienda, disminuyendo fuertemente los elevados consumos de energía. En Europa y Norteamérica, se han instaurado distintos sistemas de certificación (Passivhaus, BREAM, LEED, Green Star, Minergie P) (tabla 1) que aseguran confort, calidad de aire interior y eficiencia energética en la vivienda. El sistema de certificación, de

1. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights*. París: International Energy Agency, 2010.
2. NEMRY, F., UIHLEIN, A., MAKISHI COLODEL, C., WETZEL, C., BRAUNE, A., WITTSTOCK, B., HASAN, I., KREIBIG, J., GALLON, N., NIEMEIER, S., FRECH, Y. "Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union - Potential and costs". *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, núm. 7, p. 976-984.
3. PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGÍA. *Estimación del potencial de ahorro de energía, mediante mejoramientos de la eficiencia energética de los distintos sectores*. Santiago de Chile: Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile, 2008. 150 pp.
4. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. *Balance nacional de energía*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile, 2009.
5. BAYTELMAN. "Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos". En: *Proyecto fomento de la eficiencia energética*. Santiago de Chile: Departamento de Economía, Universidad de Chile, 2005.
6. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *Censo 2002*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile, 2003.
7. HONG, S., GILBERTSON, J., ORESZCZYN, T., GREEN, G., RIDLEY, I. "A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment". *Building and Environment*, 2009, vol. 44, p. 1228-1236.
8. FORCAEL, R. Y GARRIDO, M. *Estimación de la demanda energética de viviendas en Temuco*. Temuco: Departamento de Ing. De Obras Civiles, Universidad de la Frontera, 2010.

origen alemán, “Passivhaus”, es el más exigente, en cuanto a los valores que se deben cumplir para alcanzar el estándar propuesto. En relación con el consumo energético exige 15 kWh/m² año por demanda energética en calefacción. Debido a esta alta exigencia que presenta el estándar alemán, se decidió utilizarlo como referente en esta investigación.

Tabla 1: Sistemas de certificación usados a nivel mundial. Fuente: Elaboración Propia.

Sistema de Certificación	País	Objetivo
Passivhaus	Alemania	Alcanzar en todo momento condiciones interiores de confort con un gasto mínimo de energía Reducir emisiones de CO2 a lo largo de la vida útil
BREAM	Inglaterra	Mejorar el rendimiento medioambiental de los edificios Reducir impactos ambientales durante la construcción y la vida útil Promocionar mejores prácticas del mercado. Proveer un método de medición y monitorización del rendimiento ambiental del edificio
LEED	Estados Unidos	Reducir: costos de operación, envío de residuos, emisiones de gases invernaderos y el consumo de energía y agua
Green Star	Australia	Reducir el impacto medioambiental de los edificios Innovar en prácticas de construcción sostenible, considerando la salud de ocupantes Ahorro en costos
Minergie P	Suiza	Proveer alta calidad en edificios, envolturas herméticas y renovación continua de aire con un sistema de ventilación eficiente energéticamente

En Chile se ha trabajado en políticas habitacionales orientadas hacia una disminución del consumo energético y mejoramiento de la calidad de vida en el sector residencial, siendo la más concreta y de carácter obligatorio, la implementación de la Reglamentación Térmica (OGUC Artículo 4.1.10) en el año 2000. Seguido a esto, para aquellas viviendas sociales construidas previo a esta normativa, se hace entrega del subsidio estatal “Reacondicionamiento Térmico para Viviendas Existentes”, con el fin de lograr que alcancen las exigencias mínimas de dicha reglamentación. La última medida tomada por el gobierno, es la entrada en vigencia de la Calificación Energética para viviendas nuevas [9]. De este modo, se puede percibir que en Chile, poco a poco, se han implantado lineamientos conducentes a la eficiencia energética en el sector residencial, con ayudas subsidiadas hacia estratos socioeconómicos bajos.

Este artículo, tiene como objetivo dar a conocer las barreras y oportunidades encontradas en el proceso de introducción de un estándar de eficiencia energética de alta exigencia en el diseño de viviendas sociales chilenas. Se entiende por barreras, aquellos obstáculos o dificultades de origen, económico, técnico o cultural, que surgen al incorporar un nuevo estándar en una vivienda de bajo costo. Las oportunidades en cambio, son

9. MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO.
Manual de procedimientos. Sistema de calificación energética de viviendas en Chile. Santiago de Chile: MINVU. 2012.

consideradas como aquellas circunstancias favorables que ocurren al alcanzar el estándar preestablecido. Existen oportunidades que nacen a partir de la superación de ciertas barreras.

Para lograr este objetivo, se evalúan distintas estrategias de mejoramiento energético, guiadas hacia un alto estándar de eficiencia energética, durante el proceso de diseño de una vivienda de interés social. La vivienda como caso de estudio es seleccionada desde la Organización No Gubernamental (ONG) "Techo", fundación sin fines de lucro que tiene como objetivo la erradicación de la pobreza en Chile. Es durante el proceso de diseño integrado de esta vivienda, donde se identifican las barreras y oportunidades.

Materiales

Para definir el caso de estudio se decidió utilizar una vivienda de interés social, para poder así incrementar el confort térmico de aquellos usuarios que menos ingresos económicos destinan a satisfacer necesidades térmicas. Además, incrementando la eficiencia energética de estas viviendas, que son subsidiadas por el Estado, se apunta hacia un beneficio a nivel de país y de satisfacción por parte del usuario.

En las últimas décadas, en Chile se ha reducido el número de familias sin casa, pero es en este tipo de construcciones, donde se observan envoltentes ineficientes en materia de aislación térmica, con alta permeabilidad al aire exterior, con riesgos de condensación intersticial y superficial y ventilación insuficiente. Las temperaturas externas extremas de invierno y verano no difieren mayormente de las temperaturas operativas en el interior de la vivienda.

Tal situación empeora debido a los hábitos del usuario. En invierno por ejemplo, tienden a cerrar las habitaciones y encender calefactores por algunas horas, provocando un alza en la contaminación intradomiciliaria y afectando su propia salud. Otra situación recurrente en viviendas sociales, es la producción de abundante vapor de agua al interior, proveniente del metabolismo de las personas y de otras fuentes, tales como: ducha, cocción de alimentos, lavado, secado de ropa, etc.; sumado al uso de calefactores de llama abierta [10].

Por razones como estas, es que la vivienda social se deteriora rápidamente, haciendo que generalmente se necesite de un mantenimiento. Los autores Rodríguez y Sugranyes señalan que en al menos 90 % de las viviendas, utilizadas en estudios, se ha realizado alguna obra de mantención y/o mejoramiento costado por el usuario [11]. Esto hace suponer que las viviendas nuevas debieran considerar mejoras desde una etapa temprana, reflexionando en soluciones que busquen la eficiencia energética y el confort térmico ya desde la fase de diseño.

Descripción del Caso de Estudio

El caso de estudio corresponde a una vivienda social diseñada por la fundación "Techo" (figuras 1, 2 y 3), la cual pertenece al propuesto de un conjunto habitacional definido por 150 unidades iguales, adosadas en ambos lados. El barrio se proyecta para ser construido en la comuna de Coronel, ubicada a 30 km al sur de Concepción, capital de la región del Bío-Bío, que corresponde a una zona ubicada en el centro-sur del país.

El diseño comprende dos niveles, sobre un radier de 7 cm sin aislación térmica, con muros medianeros de primer y segundo piso en albañilería armada, la estructura armada por pilares, vigas y cadenas son confeccionadas en hormigón, y además se consideran tabiques estructurales perimetrales



Figura 1: Imagen vivienda social. Fuente: Techo.

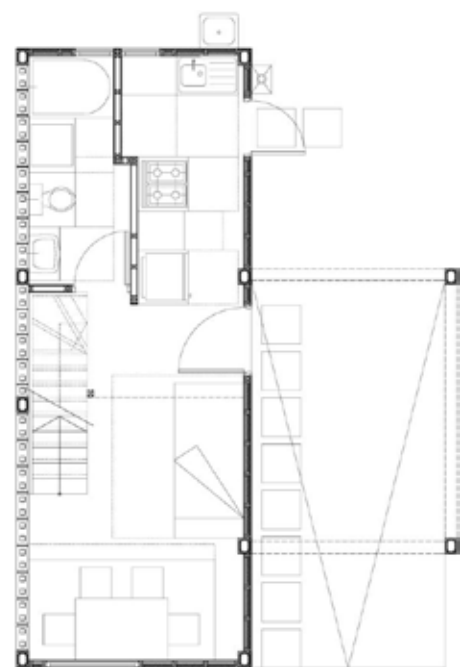


Figura 2: Planta Nivel 1. Fuente: Techo.

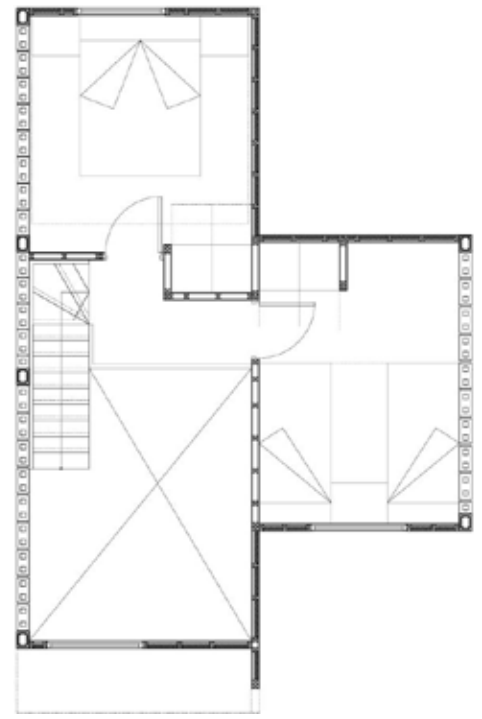


Figura 3: Planta Nivel 2. Fuente: Techo.

de madera de pino. El entrepiso es estructurado en base de madera, al igual que la techumbre.

En cuanto a las características físicas-constructivas relacionadas con la eficiencia energética y ambiental de la vivienda, esta solo cumple con la Reglamentación Térmica vigente. Es decir; considera aislación térmica en los muros perimetrales, en el complejo de techumbre y en el piso ventilado (sobre el primer nivel libre). No involucra atenciones hacia problemas de ventilación, infiltraciones de aire o humedad. Por ende se define a priori que son distintas las estrategias de mejoramiento que deben ser aplicadas para lograr alcanzar las exigencias del estándar Passivhaus.

Caracterización Climática

Una de las características geográficas de Chile es que existe una amplia cantidad de zonas climáticas diferentes, desde climas casi polares en el sur, hasta climas desérticos en el norte. La comuna de Coronel se encuentra al centro-sur del país, donde se manifiesta una transición bioclimática entre el clima mediterráneo del centro de Chile y el clima templado-frío, característico al sur del país. En la zona centro, las diferencias de temperaturas entre temporadas son marcadas, alcanzando en verano un promedio de 28 °C y en invierno 14 °C. La lluvia se concentra en invierno (entre junio y agosto); en cambio, en el sur de Chile, la lluvia aumenta significativamente, su intensidad en el mes de junio.

Haciendo uso de la clasificación empírica de las distintas zonas climáticas de Wladimir Köppen [12], donde los climas son definidos principalmente por los valores medios anuales y mensuales de la temperatura y de la precipitación, se define el clima de Concepción como: Templado Cálido con Estación Seca Corta (Csb)¹.

Método

Proceso de diseño integrado

Se entiende por “Diseño Integrado”, aquel “Procedimiento que apunta a optimizar el edificio como un sistema integral y por toda su vida útil, lo que se logra a través del trabajo interdisciplinario desde el inicio del proceso” [13].

Se conforma un equipo de trabajo, a partir de dos grupos profesionales. El primero es el encargado de la evaluación de eficiencia energética y el segundo del diseño arquitectónico, estructural y constructivo. El diseño propuesto se estudia y desarrolla de manera conjunta e integrada por todas las disciplinas involucradas. Mediante la incorporación de un nuevo método de trabajo de Diseño Integrado se definen cada una de las estrategias de mejoramiento energético, para las distintas etapas de diseño del proyecto.

El equipo interdisciplinario trabaja en reuniones periódicas durante todo el proceso de diseño, donde se generan análisis y discusiones sobre los problemas observados y las soluciones propuestas a estos, igualmente discutidas y consensuadas. El método de trabajo integrado devela que las competencias interdisciplinarias de un proceso como este, pueden ser muy determinantes en el logro de los objetivos. Dicho proceso integrado permite observar y revelar aportes determinantes del equipo según las especialidades particulares en distintas etapas definidas del proceso a partir de la vivienda base, como también se puede observar que hay etapas en donde no participan ciertos profesionales, y otras en que no es posible llegar a un resultado sin la integración de más de una disciplina (tabla 2).

10. SEPULVEDA, O., CARRASCO, G., SAHADY, A y RODRIGUEZ, G. “La autocontaminación en la vivienda económica”. *Boletín INVI* 1993, No. 19, pp. 44-51.
11. RODRIGUEZ, A. y SUGRANYES, A. “El problema de vivienda de los con techo”. *Revista EURE*, 2004, vol 30, No. 91, pp. 53-65.
12. INZUNZA, J. “Clasificación de los climas de Köppen”. *Ciencia Ahora*, 2005, vol.15, No.8, pp. 131-156,.
13. TREBILCOCK, M. “Proceso de Diseño Integrado: nuevos paradigmas en arquitectura sustentable”. *Arquiteturarevista*, 2009, vol. 5, p. 65-75

¹ C: Climas templados lluviosos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18 °C y -3 °C, y la media del mes más cálido supera los 10 °C.

S: clima con estación seca en verano.

B: la temperatura media del mes más cálido es inferior a 22 °C, pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses superiores a 10 °C.

Tabla 2. Proceso de diseño integrado para proyecto de vivienda social de estándar altamente eficiente. Fuente: Elaboración

		ETAPAS DEL PROCESO DE DISEÑO							
		Teoría del diseño del estándar casa pasiva	Diseño arquitectónico	Diseño Sistema de Climatización	Sistema constructivo	Hermeticidad	Diseño libre de Puentes térmicos	Ventanas y puertas	Instalaciones
PARTICIPANTES	Arquitectos	Incorporar estrategias de diseño eficiente energéticamente	Diseño Compacto y bien orientado	Incorporar intercambiador de calor e instalaciones	Incorporar sistema constructivo con sellos y cintas	Trabajo en detalles constructivos con sellos y cintas	Definición de la relación de la estructura y la envolvente térmica.	Diseño de puertas y ventanas de altos desempeños	Concentrar instalaciones para evitar romper la envolvente térmica.
	Asesores en eficiencia energética	Metodología de análisis dinámica.	Simulación de diseño arquitectónico	Simulación de incorporación de equipo de climatización	Simulación de complejos de parámetros horizontales y verticales.	Introducción de materiales para conformar la envolvente hermética	Cálculo de puentes térmicos (Term)	Simulación de complejos de puertas y ventanas (Term)	Evaluación del uso de sistema de recuperador de calor (HRV)
	Asesores Económicos	-	-	Evaluación de retorno financiero	Evaluación de retorno financiero	-	-	Evaluación de retorno financiero	Evaluación de retorno financiero
	Ingenieros Climáticos	Estudio de características y condiciones de Intercambiador de calor	Incorporar en el diseño el proyecto de climatización	Diseño y cálculo de sistema de climatización	-	-	-	-	Uso de un bypass en el sistema HRV
	Ingenieros Estructurales	-	Definición de la relación de la estructura y la envolvente térmica.	-	-	-	-	-	-
	Ingenieros en Construcción	Composición del sistema constructivos y la envolvente	-	-	Diseño de complejos constructivos	Diseño de detalles constructivos	Asegurar la continuidad térmica de la envolvente	-	Concentrar instalaciones evitando la rotura de la envolvente térmica
	Usuarios	Conocimiento del estándar	Costo de la obra	Aprendizaje del sistema de climatización	Aprendizaje de la materialidad de la obra.	-	-	-	Uso del bypass del sistema HRV

Durante el proceso de diseño, el trabajo integrado permite observar si existen ciertas dificultades que conllevan resoluciones por parte de los profesionales, siendo finalmente traducidas en Barreras y Oportunidades. Estas son descritas y clasificadas a partir de los atributos que la aplicación de un nuevo estándar debiese cumplir, según Mlecnik [14], para reducir la complejidad de la verificación del estándar: (i) la ventaja debe ser percibida en términos económicos, de confort y satisfacción por el usuario, para que él pueda adoptar rápidamente el nuevo proyecto, (ii) la innovación debe tender a la simplicidad para ser acogida con mayor rapidez, (iii) la experimentación debe ser difundida: mientras el usuario más conozca el estándar y su incorporación, más rápido podrá adoptarlo, y (iv) hacer del nuevo estándar compatible con el marco legal local.

Diagnóstico de Estrategias de mejoramiento

Para definir el consumo energético inicial de la vivienda en estudio, se realiza un diagnostico físico-constructivo mediante simulaciones dinámicas con el software Desing Builder v. 3.0, el cual integra diferentes módulos para el cálculo energético y ambiental de los edificios [15].

El proceso de simulación consta de dos etapas, la primera tiene por objetivo conocer la demanda energética en calefacción y refrigeración de la vivienda original, para luego, en una segunda etapa, simular y evaluar las múltiples estrategias de mejoramiento energético ambiental propuestas.

14. MLECNİK, E., VISSCHER, H. y VAN HAL, A. "Barriers and opportunities for labels for highly energy-efficient houses". *Energy Policy*. 2010, vol. 38, p. 4592-4603.

15. DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. *Design Builder Products Info* [en línea]. [Consulta: 03 de enero de 2013]. Disponible en: http://www.designbuilder.co.uk/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=13

Tanto en la vivienda original, como en la mejorada, se consideran las mismas condiciones de borde para poder comparar ambos casos. La temperatura de confort se establece en 20 °C constante, la ventilación natural se especifica en 2 ac/h cuando la temperatura interior supere 24 °C y la renovación de aire es de 8 l/s por persona, para asegurar una correcta calidad de aire al interior.

Las estrategias se proponen sobre la base de los valores propuestos por el estándar Passivhaus, considerado como el más exigente a nivel mundial. Este estándar establece la demanda energética máxima de 15 kWh/m² año, por conceptos de calefacción y refrigeración, siendo esta última casi nula en el resultado final ya que en la ciudad donde está ubicado el prototipo, es bajo el riesgo de sobrecalentamiento. La humedad relativa del aire debe ser confortable y se debe considerar el uso de un sistema de ventilación (natural y/o mecánica), que asegure la eliminación de humedad y contaminantes, alcanzando el caudal de aire mínimo necesario según diseño y teniendo una tasa de infiltración de aire inferior a n50=0,6 vol./h.

Distintas estrategias de mejoramiento son extraídas a partir de ciertas directrices determinadas por Hatt [16] en el estudio de la implementación del estándar Passivhaus en Chile. La envolvente térmica de la vivienda es prioridad en los requerimientos para limitar la demanda energética y es además un factor fundamental de la eficiencia energética en Chile [17]. La evaluación del desempeño de estas estrategias, se determina mediante múltiples simulaciones energéticas y, de forma paralela durante las reuniones de trabajo, se definen y analizan, distintos factores y condicionantes relacionadas con la edificación, las que son determinantes e influyentes en el mejoramiento energético de la vivienda.

Para alcanzar un alto estándar de eficiencia energética se proponen variadas estrategias de mejoramiento a partir del caso de estudio original. Con respecto al diseño arquitectónico, el proyecto no puede sufrir modificaciones mayores, ya que este ha sido previamente presentado a los futuros moradores, motivo por el cual las únicas estrategias arquitectónicas planteadas no deben modificar significativamente la apariencia de la propuesta original.

En lo que respecta a lo constructivo, se consideran diferentes cambios, especialmente con el fin de mejorar la envolvente térmica y hermética de la vivienda (tabla 3). Las estrategias son seleccionadas sobre la base de un monto extra que se pudiera adicionar a los costos iniciales, considerando el subsidio de Reacondicionamiento Térmico, que si bien esta guiado a viviendas existentes, se considera solo como un supuesto.

Tabla 3: Estrategias de mejoramiento a la casa inicial. Fuente: Elaboración Propia, 2013.

Desempeño	Elemento	Variable	Estrategia
Demanda calefacción y refrigeración	Envolvente	Aislación de muros	Poliestireno expandido (e: 120 mm) + capa aire (e:50 mm)
		Aislación de Techumbre	Lana mineral (e: 180 mm)
		Aislación de Piso 1° Nivel	Poliestireno expandido (e: 40 mm)
		Aislación Piso ventilado 2° nivel	Poliestireno expandido (100 mm)
		Cambio de Ventanas	Termopanel (proyectantes)
		Aislación de puertas	Poliestireno expandido (e: 30 mm)
	Climatizador	Intercambiador aire- aire	Intercambiador de calor
Estanqueidad al aire	Envolvente	Sellar juntas	Cinta adhesiva
Ahorro de energía primaria	Uso postocupacional	Guía y directrices para el usuario	Uso de electrodomésticos eficientes, enseñanza hábitos energéticos
Temperaturas superficiales interiores	Envolvente	Soluciones constructivas	Evitar puentes térmicos

16. HATT, T., SAEZ, G., HEMPEL, R. AND GERBER, A. "Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar Passivhaus en Chile". *Revista de la Construcción*. 2012, vol. 11, núm. 2, p. 123-134.
17. ESCORCIA, O., GARCÍA, R., TREBILCOCK, M., CELIS, F., BRUCATO, L. "Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile". *Informes de la Construcción*. 2012, vol. 64, núm. 528, p. 563-574

Resultados

Como primer resultado, se obtiene que la vivienda original demanda 114 kWh/m² año de energía para la calefacción, asegurando 20 °C de temperatura. La energía que se demanda para enfriamiento es marginal, debido al inexistente riesgo de sobrecalentamiento. Cabe destacar que esta demanda es considerando solo 1 ac/h como tasa de infiltración de aire, pero mediciones hechas en viviendas construidas en madera en Concepción, arrojan peores tasas de infiltración de aire que bordean los n50=42 vol/h [18]. Debido a esto se hace necesario conocer la permeabilidad al aire real de la envolvente para conocer su verdadera demanda, ya que al aumentar la tasa de infiltración, y por ende las pérdidas de calor, aumenta inmediatamente la demanda de energía en calefacción.

La vivienda mejorada demanda 82% menos de energía con respecto a la original, reduciendo la tasa de infiltración de aire a la mitad y aumentado a más del doble la temperatura superficial mínima en un muro de la envolvente (tabla 4). Aun así esta última estrategia no permite cumplir con cada exigencia del estándar, ya que este plantea presentar una temperatura superior a los 17 °C, no obstante, el mayor beneficio obtenido es el disminuir el riesgo de condensación superficial en el elemento. Al utilizar los montos destinados a estas viviendas por el Estado no se pueden proponer estrategias mucho más eficientes debido a ser altamente costosas.

Tabla 4: Comparación de resultados entre la vivienda original y la mejorada en relación con lo exigido por el estándar Passivhaus. Fuente: Elaboración Propia

	Vivienda Original	Vivienda Mejorada
Calefacción y Refrigeración <15 kWh/(m²a)	114 kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)
Estanqueidad (≤0,6 ac/h n50)	1 ac/h	0,5 ac/h
Temperatura superficial interior (>17°C)	5,8 °C	11,2 °C

Cabe mencionar que si bien el ahorro es excesivo con respecto al original, se considera que el estándar Passivhaus es el más exigente en temas de eficiencia energética, y este ejercicio busca estudiar la incorporación del tal estándar, manifestando que es a partir de él de donde se pueden obtener estrategias que permitan tener otros resultados de ahorro energético.

Otra comparación que se desarrolla es la diferencia de pérdida de energía que existe en los distintos elementos que componen la envolvente de la vivienda original y mejorada (figura 4). En la vivienda original la mayor pérdida energética es por la composición de los muros perimetrales y las ventanas, motivo por el cual fueron los primeros elementos en ser evaluados con nuevas estrategias de mejoramiento. Si bien siguen siendo los elementos con mayor pérdida, el aumento de la eficiencia de ellos fue el doble en los muros y poco menos de la mitad en ventanas.

El objetivo de disminuir el consumo energético se cumple, sin embargo, otras exigencias no se consiguen. La temperatura superficial en ventanas, por ejemplo, está por debajo del estándar, lo que produce un discomfort térmico debido a la diferencia de más de 4 °C entre la temperatura superficial de la ventana y la temperatura del aire del recinto. Según distintas simulaciones hechas, se concluyó que para alcanzar el estándar se debía usar una ventana de doble vidrio hermético y con gas argón en su interior, pero se debió optar por una ventana de doble vidrio hermético, con aire en su interior, debido a que el costo total de la vivienda aumenta notoriamente, excediendo el

18. FIGUEROA, R., BOBADILLA, A., BESSER, D., DÍAZ, M., ARRIAGADA, R. Y ESPINOZA, R. "Air infiltration in Chilean housing: A baseline determination". En: *PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future*, Munich, Germany, 10-12 September 2013.

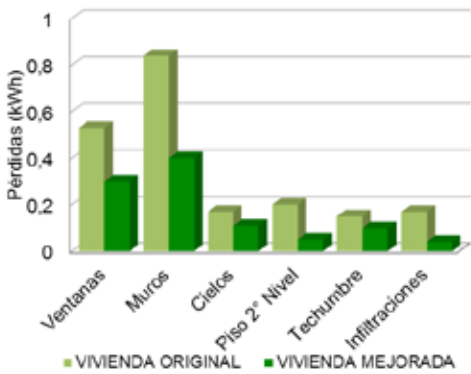


Figura 4: Desglose de pérdida de energía por elemento de la envolvente. Fuente: Elaboración Propia.

presupuesto; además existe el riesgo del daño que puede sufrir la ventana durante el uso en su vida útil, la cual difícilmente sería remplazada por un vidrio del mismo tipo. No se consideran otro tipo de ventanas, como las usadas en Francia, que consideran cristal adentro y madera afuera, debido a que no se dispone de ellas en el mercado nacional, y una importación encarecería el resultado final.

La inversión inicial de la vivienda de interés social es financiada en un 93 % por el Estado, entidad que no vería el retorno de la inversión, pero sí tendría otros beneficios a nivel país si la medida de mejoramiento fuese aplicada en viviendas de forma masiva. El ahorro en gastos de calefacción es un beneficio directo del usuario de la vivienda, por lo tanto, no hay un flujo de dinero directo para recuperar la inversión por parte del Estado. Además se adiciona la disminución de emisiones por concepto de generación energética, medida que sí atiende un interés a nivel país.

El mayor beneficio es para la familia de la vivienda mejorada, dado que los gastos mensuales en calefacción en invierno se reducen de US\$ 82 a US\$ 12. Si bien, no todas las familias calefaccionan sus viviendas actualmente por problemas de costos ya expuestos, la potencial ventaja de un mejoramiento es observada en el incremento del confort térmico, alcanzando una temperatura constante de 20 °C.

Al determinar el prototipo final de la vivienda mejorada con sus costos y beneficios se concluyen cuáles han sido las barreras y oportunidades descubiertas durante el proceso de diseño.

Discusión

Identificación de barreras y oportunidades

Las barreras y oportunidades que surgen a partir del proceso de la inclusión de un alto estándar de eficiencia energética en la vivienda social en Chile y sus resultados, se describen desde lo propuesto por Mlechnik en conjunto con los hitos señalados en el proceso de diseño, siendo finalmente clasificados en distintos ámbitos: económicos, energéticos, de confort, de innovación, marcos legales y percepción del usuario.

I. Economía y Confort

Barrera: Bajos recursos económicos disponibles

Para poder incorporar un estándar de alta eficiencia energética en viviendas de bajo costo, en el centro-sur de Chile y bajo las políticas habitacionales del país, es necesario invertir inicialmente 28 % extra al costo original. Esta inversión adicional podrá ser recuperada en 28 años, lo que obstaculiza en mayor medida la incorporación de estándares más exigentes en la vivienda social. Actualmente, el usuario que se adjudica una vivienda social nueva en Chile solo debe costear US\$484, lo que equivale a un 2,7 % del total. En el caso de querer alcanzar el nuevo estándar, el usuario debiera pagar casi 15 veces más de lo que paga en el comienzo, lo que es completamente imposible considerando el nivel de vulnerabilidad de las familias. Entonces, este delta de costo debiera ser cubierto por el Estado, quien no vería la recuperación de la inversión como un retorno directo, pero el país sí se beneficia indirectamente con mejoras como: mejor calidad de vida de los usuarios, traducido en satisfacción residencial, disminución de problemas de salud y ausentismo laboral, lo que conllevaría, por ejemplo, a la disminución de atenciones hospitalarias y licencias médicas, entre otras.

Oportunidad: Mejoramiento de las condiciones de confort al interior de la vivienda

En el proceso de diseño se considera una temperatura interior de 20 °C para estar en confort y suficiente aire fresco para condiciones higiénicas de 30 m³/h por persona, lo que permitió establecer que estas modificaciones tienen incidencia en el confort habitacional.

Como ya se mencionó, el ahorro monetario no será una oportunidad para el usuario, pero los usuarios de las viviendas sociales sí tendrán altos beneficios en cuanto a confort, calidad de aire y salud.

Al incorporar un alto estándar de eficiencia energética en la vivienda, no será necesario el uso de sistemas de calefacción para alcanzar la temperatura interior de 20 °C, dado que se habrán minimizado las pérdidas. Con la incorporación del intercambiador de calor se logra una eficaz renovación del aire interior sin la necesidad de perder el calor del aire interior, permitiendo ahorrar energía de calefacción y alcanzar un buen nivel de calidad de aire dentro de la vivienda.

II. Innovación

Barrera: Inexistencia de tecnologías de climatización, materiales, ventanas, puertas de alto desempeño y transmitancia térmica.

La propuesta de mejoras se basa, en gran medida, en una envolvente aislante, en ventanas estancas y en un sistema de ventilación conectado a un intercambiador de calor que abarca toda la vivienda. Además se considera el uso de sellos especiales, que permiten disminuir la tasa de infiltración de aire en la envolvente. Si bien estos últimos no se encuentran disponibles en el mercado actual en Chile y Latinoamérica, sí existen materiales de menor calidad, que podrían adecuarse para resolver favorablemente un problema de infiltración.

Para lograr el estándar propuesto, las ventanas deben ser de alta tecnología, con marcos de dimensiones mínimas de 65 mm que incluyan dos cámaras de aire, de dos o más contactos, con burletes, con vidrios termopanel de 4 y 6 mm y, con una lámina protectora de baja emisividad y gas argón en el interior. Ventanas de esta composición comprenden un costo elevado ya que aún no tienen competencia en nuestro mercado.

En relación con las puertas, se propuso una puerta hermética, con doble contacto en todo su perímetro. Al ser un producto inexistente en el mercado chileno se debió diseñar y construir un prototipo.

Oportunidad: Inclusión de materiales, de sistemas tecnológicos y de componentes innovadores para soluciones constructivas eficientes.

A nivel nacional existen distintos elementos que no son encontrados en el mercado, por lo que dicha barrera fomenta la innovación en la creación de distintos materiales y soluciones constructivas. La oportunidad de introducir al mercado sistemas de climatización de aire, conlleva una importante innovación tecnológica de bajo consumo y altas prestaciones.

La existencia de estos productos y soluciones, que posibiliten la hermeticidad y la minimización de puentes térmicos en la construcción nacional, posibilitaría el uso masivo en construcciones eficientes energéticamente, innovadoras y competitivas.

La educación profesional en la problemática de construcción sustentable y el desarrollo de capacidades para materializar los proyectos, son fundamentales para la innovación. El sector de la construcción, en países en vías de desarrollo, no está consciente de los potenciales ahorros de energía que tiene, ni de los impactos ambientales que provocan. Son muchas las empresas de construcción que no tienen ningún conocimiento acerca de

tecnologías de eficiencia energética y sus beneficios, por lo que no ofrecen la aplicación de estas medidas a sus clientes [19]. Por lo tanto, es necesario remediar la falta de educación y capacitación en el área.

III. Marco Legal y Eficiencia Energética

Barrera: Reglamentación térmica insuficiente y distanciada de un alto estándar de eficiencia energética

La incorporación de un estándar de alta eficiencia energética en viviendas chilenas, implica ofrecer soluciones de diseño y constructivas que sobrepasen lo exigido como estándares mínimos en la Reglamentación Térmica actual [20], tales como: baja tasa de infiltración, minimizar los puentes térmicos y renovaciones de aire mínimas y controladas para mejorar la calidad del aire sin enfriar.

Las dificultades económicas se ven incrementadas por barreras establecidas bajo políticas habitacionales, las cuales actualmente estiman un subsidio que no basta para la incorporación de un alto estándar de eficiencia energética en la vivienda social.

Oportunidad: Ahorro energético a nivel país.

Si se pensara en crear incentivos monetarios extras, para poder incorporar eficiencia energética en viviendas de bajo costo, se podría disminuir el consumo de energía en el sector residencial, factor de vital importancia en Chile por ser un país dependiente de energía que debe importar.

En el proceso de verificación de eficiencia de la vivienda propuesta, se comprueba la incidencia de las modificaciones frente a la disminución de la demanda energética. La vivienda original demanda 66 kWh/(m² año) por concepto de calefacción en los seis meses de temporada fría, en cambio la vivienda con propuestas de mejoramiento muestra una demanda de 10 kWh/(m² año), es decir se disminuye 83 % de energía con respecto a la original.

En Chile, el sector residencial es responsable de un cuarto de la energía consumida a nivel nacional, la distribución de este consumo en el sector centro del país tiene una distribución similar al consumo nacional: 57 % corresponde a calefacción, 18 % a agua caliente sanitaria y 7 % a cocina. Sin considerar el tipo de combustible que se use, el consumo promedio de energía para calefaccionar de una vivienda es 10 232 kWh/año [21], valor que hace considerar la necesidad de implementar políticas de ahorro energético en el sector residencial.

IV. Satisfacción del Usuario

Barrera: Falta de conocimiento del tema

A través del caso de estudio, y derivado de su costo extra, se evidenció una barrera a nivel sociocultural y económico de los usuarios. Desde las reuniones con los profesionales de Techo, se reconoce que la reacción de los usuarios, al conocer la inversión extra del proyecto, sería de rechazo. La razón no es que les guste habitar una vivienda fría, sino que con el costo que implica el mejoramiento y con las distintas necesidades que tienen, preferirían destinar los ingresos económicos extras en otros asuntos, tales como una habitación extra, comer, trasladarse o vestirse.

El proceso de inserción de proyectos de esta índole y la satisfacción residencial, solo puede atenderse previa asimilación cultural de la problemática. Una importante dificultad con la aceptación de proyectos con altos estándares de eficiencia energética es que existe muy poca evidencia empírica sobre su impacto real, por lo que la desconfianza se ve incrementada. También, dadas las necesidades de recursos económicos indicadas por los usuarios en la actualidad, es complejo motivarlos a hacer una inversión que se recupere durante los próximos 28 años.

19. BODACH, A., HAMHABER, J.

"Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil". *Energy Policy*, 2010, vol. 38, p. 7898-7910.

20. MINISTERIO DE VIVIENDA

Y URBANISMO. *NCh853:*

Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Santiago, Chile: MINVU, 2007. 45 p.

21. CORPORACIÓN DE DESARROLLO

TECNOLÓGICO. *Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial.* Santiago de Chile: Ministerio de Energía, Programa País de Eficiencia Energética, 2010.

Oportunidad: Mejorar la habitabilidad y la salud del usuario

Buenas condiciones de confort habitacional, podrían mejorar considerablemente la satisfacción y la salud de los usuarios. Esta temática abre una línea de investigación que podría ser desarrollada por áreas relacionadas y ser un apoyo en la difusión de la problemática.

El uso de la leña como calefacción es una de las principales causas de la contaminación interior y también ambiental en las regiones del sur de Chile. La vivienda propuesta, que incorpora una envolvente hermética y un equipo intercambiador de calor al interior de la misma, permite prescindir de fuentes de calor como las estufas a leña o cualquier otra. En el caso de necesitar más calefacción, el equipo intercambiador permite incrementar la temperatura, adicionando una resistencia eléctrica que equivale a los watts utilizados por un secador de pelo.

La comuna de Coronel muestra promedios anuales de contaminación atmosférica por sobre los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor en que se inicia la zona de latencia) [22]. La contaminación al exterior de la vivienda afecta inmensamente a la calidad de aire interior, por lo que considerar un intercambiador que ingrese el aire filtrado y de forma limpia, evitará mayor contaminación al interior. Las concentraciones de gases y material particulado al interior de las casas, emitidas a partir de la combustión de combustibles sólidos, incluyendo leña, serían responsables de 1.6 millones de muertes al año y causantes del 3 % de las enfermedades en el mundo [23].

Conclusiones

Si se tienen en cuenta la totalidad de las variables estudiadas desplegadas en el análisis, que permitieron definir barreras, y a partir de ellas la generación de oportunidades, es posible llegar a conclusiones de carácter general y particular.

Una de las problemáticas transversales en todo sector residencial, es la relación costo-confort, la cual constituye el mayor obstáculo en muchos proyectos que persiguen la eficiencia energética y un mejor confort térmico. Para poder mitigar esta barrera, o bien superarla, se plantean oportunidades que nacen a partir de ella. Si bien es cierto que las cifras resultan desalentadoras en la posibilidad de concretar proyectos de esta índole, considerando el incremento del 28 % en su valor inicial, existen una serie de oportunidades que pueden contrastarla.

Las viviendas sociales son financiadas en un 93 % por el estado, en ese escenario, las oportunidades deben reflejarse en términos de recuperación y afección directa hacia el estado. A nivel país el beneficio ocurre cuando las medidas de eficiencia energética son aplicadas en forma masiva, ya que solo en casos particulares el efecto no es mayor. De esta manera, en el país se manifestaría una reducción de consumo energético en el sector residencial, que por ende implicaría menores costos en la importación de combustible. Disminuir 85 % el consumo energético de una vivienda, genera otras oportunidades que repercuten en el gasto estatal:

- Disminución de problemas de salud: producto del mejoramiento de las condiciones higiénicas en la vivienda.
- Disminución del ausentismo laboral: producto de la disminución de los problemas de salud.
- Disminución de la concentración de gases y contaminación con material particulado emitido de la combustión de combustibles sólidos. (Producto de esto en la actualidad en Chile existen ciudades en crisis ambiental como Santiago, Osorno y Temuco).

22. CONAMA. "Primer Informe de Calidad de Aire. CONAMA Bío Bío propone declarar Zona de Latencia al Gran Concepción". Concepción: CONAMA, 2006.

23. OMS. *Datos y Estadísticas de la Organización Mundial de la Salud* [en línea] [consulta: 19 de enero de 2013]. Disponible en: http://www.who.int/gho/mortality_burden_disease/en/index.html

- Reducción de la energía residencial consumida a nivel nacional y de la pobreza energética.

El beneficio para el usuario, en cambio, no involucra ahorro en gastos por términos de calefacción, sino que asegura un confort habitacional a través de la mantención de la temperatura interior en 20 °C, sin superar los 25 °C en verano, y con suficiente aire fresco para asegurar condiciones higiénicas (30 m³/h por persona). Además la satisfacción y percepción de su vivienda será incrementada, teniendo repercusiones sociales.

En términos particulares, la investigación y materialización de una vivienda social eficiente energéticamente fomentaría la disminución de los costos en la inversión inicial, ya que la demanda por materiales afines incitaría al mercado a presentar mayor oferta e innovación en las soluciones relacionadas con la construcción energéticamente eficiente.

Por otra parte, las altas demandas energéticas, que se perciben durante la ocupación de un edificio, provienen en gran medida de decisiones erróneas tomadas durante el proceso de diseño, implicando exagerados costos en mantención y operación de los edificios. La metodología de diseño integrado y una construcción eficiente, permitiría evitar malas prácticas de diseño y con esto lograr un edificio energéticamente eficiente.

Finalmente, se concluye que no se pueden obtener altos beneficios, si es que no se supera la mayor barrera percibida a partir del caso de estudio: bajos recursos económicos destinados a la construcción de la vivienda social. Se hace preciso que el Estado genere políticas habitacionales que permitan incrementar los recursos económicos destinados a la creación de viviendas sociales, para poder brindar una mejor calidad de vida. Esta misma barrera incita a modificar regulaciones normativas para la edificación habitacional, con nuevos estándares que apunten hacia la eficiencia energética.

A nivel latinoamericano la situación de las viviendas de bajo costo es similar, es decir, las falencias que se presentan en este caso de estudio pueden ser similares en otras insertas en un clima similar. Esto significa que para el usuario el beneficio percibido, debiese ser el mismo que en el mejoramiento de otros casos que sufran de altas demandas energéticas por términos de calefacción.

En relación con la implementación del estándar en climas como el estudiado, los requerimientos son menores al ser comparadas con las necesarias en climas más fríos (como Alemania) para alcanzar las exigencias del estándar Passivhaus. Esto permite concluir, que si bien las realidades económicas son distintas entre Alemania y Chile, se puede compensar debido al esfuerzo constructivo que implica construir con Passivhaus en el centro-sur de Chile o en Alemania, donde los recursos necesarios son mayores.

En este estudio se muestra como resultado la mejor solución sobre la base de su costo-beneficio, pero durante el desarrollo existieron estrategias intermedias que permitían disminuir el costo, pero el beneficio no era alto. Estas soluciones anteriores a la mejor solución deben ser expuestas a la entidad, o persona, que invertiera en el nuevo diseño, y así dar la oportunidad de conocer los beneficios alcanzados por cada medida.

Agradecimientos

El presente artículo fue escrito en el marco del proyecto FONDEF, D09I1081 "Desarrollo e introducción del sistema de edificación Pasiva en Chile", en el cual los autores del artículo están integrados. Parte de los antecedentes y de la metodología utilizada corresponden a la tesis en desarrollo de la autora principal, perteneciente al programa de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo de la Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.



Paulina Wegertseder
Arquitecta, Doctora © en Arquitectura y Urbanismo. Depto. de Diseño y Teoría en Universidad del Bío-Bío, Chile.
pwegertseder@ubiobio.cl



Denisse Schmidt
Arquitecta, Magister en Hábitat Residencial y Didáctica Proyectual. Depto. de Diseño y Teoría en Universidad del Bío-Bío, Chile.
dschmidt@ubiobio.cl



Tobias Hatt
Ing. Civil, Doctor en Arquitectura y Urbanismo. thatt@ubiobio.cl



Gerardo Saelzer
Arquitecto, Doctor en Arquitectura. Depto. de Diseño y Teoría en Universidad del Bío-Bío, Chile.
gsaelzer@ubiobio.cl



Ricardo Hempel
Arquitecto, Profesor Titular Universidad del Bío-Bío, Chile. rhempel@ubiobio.cl