

Camino al Bicentenario

Propuestas

para Chile

Concurso Políticas Públicas / 2009



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO SECRETARÍA
GENERAL DE LA PRESIDENCIA



CONICYT
COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



PROTEGE
red de protección social
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE PESOBLICIÓN



GOBIERNO DE CHILE
Ministerio de Planificación
FOSIS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Índice

I. Adaptación a los impactos del cambio climático en la agricultura de riego en Chile central	23
Guillermo Donoso - Juan Pablo Montero - Francisco Meza Sebastián Vicuña	
II. Pertinencia, posibilidad y estrategias para implementar en Chile centros de mediación para la solución de conflictos vecinales y comunitarios	49
Carlos Frontaura - María Olga Solar - Francisco Javier Leturia María Victoria Rogazy - Pablo Trigo	
III. Asistencia, desempeño escolar y política de financiamiento	77
Ricardo Paredes - Gabriel Ugarte - Paulo Volante- David Fuller	
IV. Forestación urbana, una alternativa real para combatir la contaminación ambiental	101
Juan Ignacio Domínguez - Ricardo Jungmann - Marcelo Miranda Alejandra Vargas - Ricardo Irarrázabal - Richard Peña	
V. Propuesta de metodologías para la identificación de proyectos de legislación de relevancia ambiental y el análisis de su efecto ambiental	125
Francisca Reyes - Jonathan Barton - Luis Abdón Cifuentes Fabián Jaksic - Rodrigo Guijón - Ricardo Irarrázabal	
VI. Aspectos de la formación inicial docente y su influencia en el rendimiento académico de los alumnos	155
María Soledad Ortúzar - Carolina Flores - Carolina Milesi Cristian Cox	
VII. Sustentabilidad en espacios colectivos de barrios vulnerables, lineamientos para una política de espacios públicos, directrices de gestión, diseño y mantención	187
Luis Valenzuela - Martín Andrade - Consuelo Araos Magdalena Gatica - Catalina Justiniano - Carolina Katz	
VIII. Calidad de los aprendizajes en educación parvularia: aportes en definición, medición e institucionalidad	223
Francisco Gallego - Paula Bedregal - María Eugenia Ziliani Yael Stekel - Francisco Lagos	

- IX. Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible** 253
Waldo Bustamante - Rodrigo Cepeda
Paula Martínez - Hernán Santa María
- X. La inversión pública: su impacto en crecimiento y en bienestar** 283
Arístides Torche - Eduardo Valenzuela
Gonzalo Edwards - Rodrigo Cerdá

Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible

INVESTIGADORES

WALDO BUSTAMANTE

Académico de la Escuela de Arquitectura UC

RODRIGO CEPEDA

Académico de la Escuela de Arquitectura UC

PAULA MARTÍNEZ

Académica de la Escuela de Arquitectura UC

HERNÁN SANTA MARÍA

Académico de la Escuela de Ingeniería UC

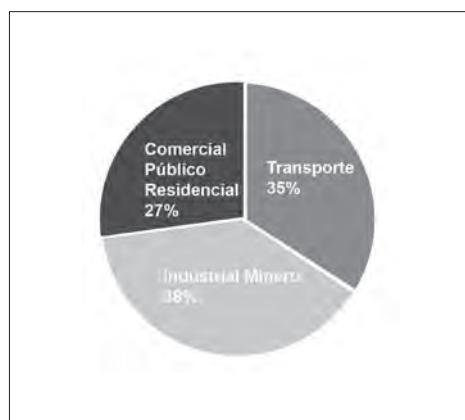
Resumen

El presente documento entrega un análisis de los distintos instrumentos que regulan la construcción de viviendas sociales en el país y que tienen directa relación con su comportamiento térmico, las condiciones de confort y las respectivas demandas de energía de calefacción. A partir de este análisis y tomando en cuenta la aplicación de diversas estrategias de diseño arquitectónico, se sugieren elementos de política para mejorar las condiciones de confort de los usuarios de viviendas sociales, incrementando la eficiencia en el uso de la energía. Se evalúan los costos de construcción asociados a estas estrategias, llegando a establecer que algunas de ellas involucran incrementos poco significativos, tal como ocurre con la alta permeabilidad al aire en la envolvente junto con la incorporación de un sistema básico de ventilación forzada. Se concluye que el país debe fortalecer y lograr una mayor coherencia entre los distintos instrumentos que regulan la construcción de viviendas sociales. La incorporación de distintas medidas, tales como el considerar con mayor rigurosidad al clima, incluir exigencias más estrictas que los actuales en los estándares de comportamiento térmico y la incorporación de normas que permitan evaluar ciertos comportamientos de materiales y sistemas constructivos, permitirán un incremento significativo en el confort y uso eficiente de la energía en viviendas sociales.

Introducción

En Chile se construyen un número muy significativo de viviendas sociales sujetas a subsidio de vivienda nueva¹. El Estado aplica una fuerte inversión social para resolver el problema del déficit habitacional, con un importante énfasis en el mejoramiento de la calidad de vida de la población susceptible de optar a los subsidios para la adquisición de viviendas. El esfuerzo del país apunta a la entrega de una vivienda digna para un importante segmento de la población, que pertenecen a los quintiles más vulnerables del país.

**FIGURA1 | Consumo porcentual por sectores de energía secundaria en Chile.
Promedio año 1998 al 2007**



Fuente: Elaboración propia según cifras de la CNE.

Por otra parte, se observa que en el país es urgente avanzar de manera sostenida y significativa en lograr un uso más racional de los recursos energéticos disponibles, para lo cual la eficiencia energética en viviendas se transforma en un objetivo de gran importancia, por el impacto que ello puede tener a nivel nacional. Además, si se considera que el sector comercial, público y residencial en Chile representa el 27% del consumo de energía secundaria (sin contar los centros de conversión) (ver Figura 1), se cuenta con un enorme espacio donde las políticas públicas pueden avanzar en la incorporación, tanto de la innovación como de los cambios tecnológicos para el uso eficiente de los recursos energéticos. Además, del mejoramiento de la calidad de vida de sectores sociales de menores ingresos.

1. En los últimos 5 años, el promedio de subsidios para viviendas otorgados asciende a 100.643 anuales. (Observatorio Habitacional MINVU, 2008).

Según cifras de la Comisión Nacional de Energía (CNE), en el año 2007, el sector residencial consumió 51.585 Teracalorías, lo que representa en 82,8% del sector comercial, público y residencial y un 21,3% del consumo energético total del país. Ello indica la importancia del sector residencial en el consumo nacional de energía (ver www.cne.cl).

Se sabe, por otro lado, que el consumo de energía en los sectores de menores recursos no permite conseguir condiciones de temperatura interior durante gran parte del invierno. El confort al interior de sus viviendas² en este periodo del año es probablemente muy corto dado su bajo gasto en combustibles, a pesar de que éste es importante dentro del presupuesto familiar. En el quintil más bajo de la población éste alcanza una cifra superior al 5% en la Región Metropolitana (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 1998).

Un estudio realizado en el invierno de 2007 y verano de 2008 (CNE/GTZ, 2008) para la determinación de la línea base de consumos de energía de calefacción y temperatura interior en viviendas, concluyó que en las ciudades de Santiago, Concepción y Puerto Montt, el gasto de calefacción promedio mensual por familia varía entre \$23.123 en Santiago hasta \$28.175 en Puerto Montt. Para Concepción este gasto alcanzó un promedio de \$24.208 al mes. En esta misma investigación se concluyó que el tiempo promedio de calefacción en viviendas por día varía entre 7,02 horas en Concepción hasta 13,88 horas en Puerto Montt. En Santiago la calefacción promedio alcanzó 7,08 horas. En cuanto a temperatura interior en las viviendas, en las urbes indicadas, la temperatura media del aire fue de 14,3°C en Concepción, 14,8°C en Santiago y 16,5°C en Puerto Montt. La temperatura media del aire en el interior de las viviendas de Santiago durante el verano fue de 30,9°C. De acuerdo a lo anterior, es posible indicar que en el país las condiciones de temperatura de las viviendas están bajo el confort la mayor parte del tiempo en días de invierno, lo que probablemente es más crítico en la población de menores ingresos.

Probablemente el mejoramiento térmico de las viviendas sociales no necesariamente producirá una disminución significativa de la energía de calefacción en el sector, esto debido a que la población más pobre del país seguirá destinando pocos recursos económicos para climatizar sus viviendas en invierno. Sin embargo, por pequeño que sea este gasto, una vivienda de mejor comportamiento térmico implica un uso más eficiente de la energía, pero más importante aún, mejorará la calidad de vida al prolongar el período diario de condiciones de confort en el ambiente interior. Es en este último sentido que también debe usarse el concepto de eficiencia energética en viviendas, sobre todo en viviendas sociales.

2. En el presente trabajo, se considera confort en el interior de las viviendas cuando se está entre una temperatura mínima de 20°C y una máxima de 26°C.

Por otra parte, Chile debe adelantarse a una crisis energética severa que podría existir en el futuro. En un escenario de mejor estándar de vida, con mayor porcentaje del gasto familiar destinado a la calefacción, los consumos podrían incrementarse peligrosamente si no se toman las medidas correspondientes en el corto plazo.

El presente trabajo analiza los instrumentos existentes en el país que se relacionan con el comportamiento térmico de las viviendas. Se realiza un razonamiento crítico de la Reglamentación Térmica (RT) de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC, Art. 4.1.10. MINVU, 2009-1). Junto a lo anterior se evalúa el Decreto Supremo N° 174 (V. y U.) del año 2005 y sus modificaciones posteriores (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2009-2). Además, se revisa el Itemizado Técnico de Construcción para Proyectos del Programa Fondo Solidario de Vivienda, para el Sistema de Subsidio Habitacional Rural y para el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (MINVU, 2009-3). Se ha considerado también la Zonificación Climático Habitacional que forma parte de la norma chilena oficial existente, cuya nueva versión está en fase de aprobación (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2008). Así, en este estudio se proponen medidas que apuntan en el mediano y largo plazo a incrementar la calidad térmica de las viviendas sociales, en todo período del año, con el fin de conseguir confort con el uso eficiente de la energía.

Antecedentes

1. Reglamentación térmica de viviendas en Chile

El país ha sido pionero en América Latina en la aplicación de estándares obligatorios de comportamiento térmico en la envolvente de viviendas, con el fin de generar un mejoramiento en el confort de los usuarios y/o una disminución en el consumo de energía de calefacción. En efecto, la RT de viviendas está vigente en Chile desde el año 2000, luego de su incorporación a la OGUC, (Art. 4.1.10). En esta primera etapa, que entró en vigencia en marzo de ese año, se definieron exigencias de transmitancia térmica máxima (o resistencia térmica total mínima)³ para el complejo de techumbre de edificios residenciales. Ello contribuyó en disminuir en forma significativa las pérdidas de calor a través de este elemento de la envolvente, en períodos fríos del año.

En viviendas, en general, las pérdidas de calor por medio del cielo constituyen un alto porcentaje respecto del total (en especial las unifamiliares).

3. La transmitancia térmica es el calor por unidad de tiempo que fluye por m^2 de sistema constructivo (transversal al flujo de calor) y por diferencia de temperatura entre un ambiente y otro. Su unidad es $W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ó $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$.

Esto sobre todo si su aislación térmica es nula o de bajo espesor, como ocurría en años anteriores al 2000, siendo la primera fase de la RT altamente pertinente. Cabe mencionar además, que la transmitancia térmica máxima exigida en distintas zonas del país podría calificarse como adecuada, con la salvedad de ciertos casos que se explican principalmente por la zonificación térmica elaborada en el marco de la RT.

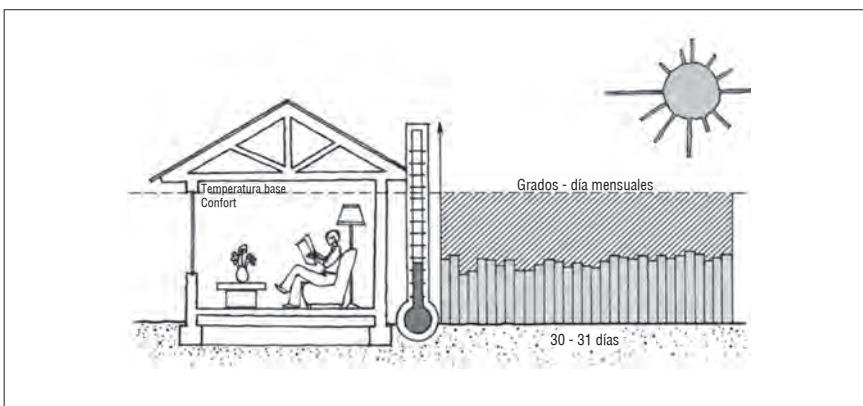
A partir de enero de 2007, en una segunda etapa de la RT, comienzan a aplicarse exigencias de transmitancia térmica en muros y pisos ventilados, junto con establecer un tamaño máximo de ventanas de acuerdo a éstas. Los estándares aplicados en este caso son menos exigentes a los establecidos para el cielo de las viviendas. Los estándares exigidos actualmente en la RT para las diferentes Zonas Térmica se muestran más adelante.

2. La zonificación térmica de la RT

Para la aplicación de la RT en las distintas comunas del país, el territorio nacional se dividió en 7 Zonas Térmicas, las que fueron definidas en base al criterio de los Grados-Día de calefacción (GDc) anuales, estimados para las diferentes comunas, haciendo uso de información meteorológica de larga data. El concepto de GDc de calefacción se define como una sumatoria de las diferencias entre la temperatura base⁴ y la temperatura media diaria del ambiente exterior, dentro de un período dado (mes o año, por ejemplo, ver Figura 2).

Ello indica que los GDc están directamente relacionados con las demandas de energía que por este concepto requiere la vivienda para lograr la temperatura interior base en el período considerado. Este parámetro se basa exclusivamente en una sola variable de clima: la temperatura media diaria exterior. De este modo, las Zonas Térmicas de la RT no consideran al conjunto de variables meteorológicas que definen un clima como la oscilación térmica (que es muy pronunciada en una vasta zona del interior del país entre ambas cordilleras), la humedad, radiación solar, intensidad y dirección del viento, altitud, precipitaciones y vegetación predominante. Puede perfectamente ocurrir que una localidad tenga similar temperatura media diaria que otra, pero que una de ellas presente una alta oscilación térmica (como ocurre en zonas mediterráneas entre la Cordillera de la Costa y de los Andes). De este modo, una localidad costera, que en general presenta un clima mucho más benigno en cuanto a temperaturas extremas, puede estar en idéntica zona térmica que otra interior con temperaturas muy bajas en invierno.

4. Temperatura base: temperatura a alcanzar en el interior de la vivienda, supuestamente de confort.

FIGURA 2 | Concepto de grados - día de calefacción (GDc)

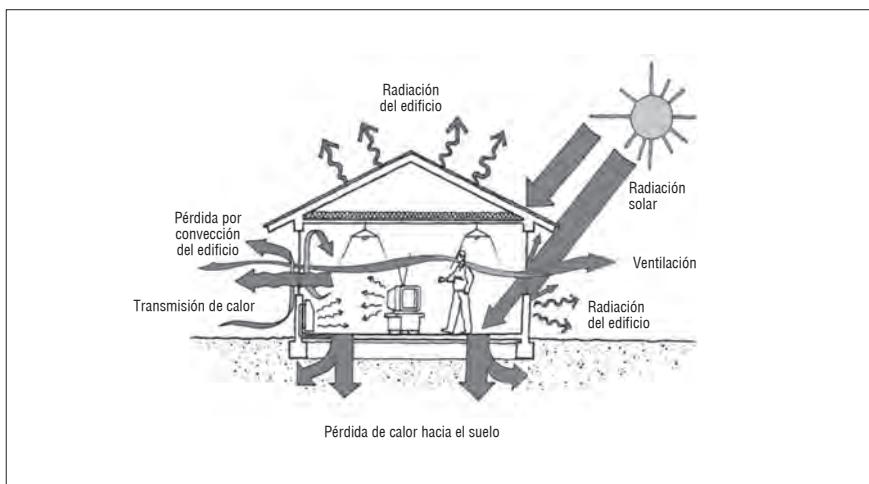
Fuente: Bustamante et al 2009.

El conjunto de variables que definen un clima (ver Figura 3) interactúan permanentemente con la vivienda. Algunas de ellas pueden ser favorables para el objetivo de conseguir confort en el espacio interior en algunos períodos del año (el acceso al sol en invierno, por ejemplo) pero otras pueden incidir negativamente (radiación solar incidente en ventanas en períodos de verano en gran parte del país).

FIGURA 3 | Solicitaciones de la envolvente según el clima

Fuente: Bustamante et al. 2009.

FIGURA 4 | Mecanismos de transferencia del calor en una vivienda



Fuente: Bustamante et al. 2009.

En el caso de la zonificación térmica de la RT, se estimaron GDc anuales en diferentes comunas del país, para lo cual se tomó como base de temperatura interior 15°C. Esto bajo el supuesto de que lo que resta para alcanzar confort de 18 a 20°C es aportado por las ganancias internas (personas, electrodomésticos, iluminación artificial y otros) y las ganancias solares, las que inciden directamente en las condiciones ambientales del interior (ver Figura 4).

3. La zonificación térmica y su relación con la zonificación climático habitacional de la Norma NCh1079-2008

Cada región del país puede contar con diferentes zonas térmicas de la RT. En el territorio de Antofagasta, por ejemplo, existen 4 de las 7 Zonas Térmicas. Cada una de ellas con exigencias en la envolvente diferentes. Algo similar ocurre en Valparaíso (Instituto de la Construcción, 2006). El problema de la Zonificación Térmica de la RT no es que en una cierta región existan varias de estas zonas, sino que ella no presente concordancia con la zonificación climático-habitacional contenida en la Norma Oficial NCh 1079-2008 (INN 2008), la cual divide al país en 9 zonas climáticas, basándose en un conjunto de variables meteorológicas de larga data tales como temperaturas extremas y medias, radiación solar, oscilación térmica, nubosidad, humedad, precipitaciones y vegetación, entre otras. Ello hace que esta zonificación climática presente diferencias significativas respecto de la zonificación térmica de la RT. De este modo las exigencias de la RT no necesariamente tienen directa relación con el clima del lugar, lo que hace que las viviendas, al momento de cumplir las exigencias mínimas de este instrumento dejan de lado variables muy relevantes que sí están presentes en la zonificación climática de

la Norma NCh1079 (INN, 2008-1), la que actualmente está en proceso de oficialización en su versión del año 2008. La primera versión de esta Norma se oficializó en 1977. La zonificación de esta versión prácticamente no ofrece diferencias respecto del que aparece en el texto de 2008.

En otras palabras, es posible afirmar que no existe una correspondencia entre las Zonas Térmicas y la Zonificación Climático Habitacional de la Norma NCh 1079-2008. Obsérvese, por ejemplo, que de acuerdo a la RT, en gran parte de la Región de Valparaíso se tendrán idénticas exigencias térmicas que en Calama (Región de Antofagasta) y que comunas de su interior, tales como San Felipe, Putaendo y otras, con temperaturas muy bajas en invierno y una oscilación térmica mayor que todo clima costero a similar latitud. Por otra parte, localidades del altiplano nortino, como Putre presenta idénticas exigencias térmicas que Punta Arenas, teniendo ambos climas muy diferentes (ver Tabla 1), que se manifiestan en la oscilación térmica, la radiación solar, las precipitaciones y las horas de sol diarias, entre otras.

La Tabla 1 muestra las Zonas Térmica de la RT, algunas localidades que pertenecen a éstas dentro de cada región, y las Zonas Climáticas de la NCh1079-2008 que forman parte de cada una de las Zonas Térmicas. Se observa como a una sola Zona Térmica pertenecen localidades de diferentes climas. Climas distintos inciden de manera diferente en el comportamiento térmico de una vivienda. Ello implica, además, que las estrategias de diseño arquitectónico, que busquen mejorar significativamente y de manera efectiva el comportamiento térmico de una vivienda, en general varían según el clima del lugar. Este factor es muy relevante de considerar en el momento de establecer los estándares mínimos de comportamiento térmico a exigir en una cierta localidad. A modo de ejemplo, una vivienda social, de un piso, que cumple con los estándares mínimos de la RT, en Calama (Zona Térmica 2) presenta una demanda de energía de calefacción de 123 kWh/m² año para 24 horas de confort en invierno. Si esta vivienda se instala en Valparaíso (Zona Térmica 2), esta demanda es de sólo 80 kWh/m² año (Bustamante et al., 2009). Igualmente, la demanda de energía de calefacción para esta misma construcción en Copiapó (Zona Térmica 1) es de 59 kWh/m² año (Bustamante et al., 2009). Esta vivienda supuesta en Arica (Zona Térmica 1) presenta demanda de energía de calefacción despreciable.

TABLA 1 | Zonas térmicas y su correspondencia con la zonificación climática de la norma NCh1079 en algunas localidades

ZONAS TÉRMICAS	Grados día anuales de calefacción Base 15°C	ZONA CLIMÁTICA DE LA NCh 1079	REGIÓN XV REGIÓN I	REGIÓN II	REGIÓN III	REGIÓN IV	REGIÓN V	R.M.	REGIÓN VI
ZONA 1	≤ 500	Norte Litoral	Arica, Iquique	Tocopilla, Antofagasta.	Huasco	La Serena, Coquimbo			
		Norte Desértico		María Elena, Pica, Pozo Almonte					
		Norte Valles transversales			Vallenar, Copiapó				
ZONA 2	$> 500; \leq 750$	Norte Litoral				Los Vilos			
		Norte Desértico		San Pedro de Atacama, Calama					
		Norte Valles Transversales				Andacollo, Ovalle, Punitaqui, Montepatria, Illapel, Salamanca			
		Central Litoral					Quintero, Valparaíso, Viña del Mar, San Antonio		
		Central Interior					Quillota, San Felipe, Los Andes, Llay Llay, Olmué		
ZONA 3	$> 750; \leq 1000$	Norte Valles Transversales			Alto del Carmen				
		Central Interior						Santiago, Melipilla, Til Til	Rancagua, San Fernando
		Central Litoral							Pichilemu

ZONAS TÉRMICAS	Grados día anuales de calefacción Base 15°C	ZONA CLIMÁTICA DE LA NCh 1079	REGIÓN XV REGIÓN I	R.M.	REGIÓN VII	REGIÓN VIII	REGIÓN IX	REGIÓN XIV	REGIÓN X	REGIÓN XI REGIÓN XII
ZONA 4	$> 1000; \leq 1250$	Central Litoral			Constitución					
		Central Interior			Talca, Linares					
		Sur Litoral				Concepción, Talcahuano, Lebu, Cañete				
		Sur Interior				Chillán, Los Angeles				
ZONA 5	$> 1250; \leq 1500$	Andina		San José de Maipo						
		Sur Litoral					Saavedra	Valdivia		
		Sur Interior					Traiguén, Temuco	Paillaco, Río Bueno	Osorno	
ZONA 6	$> 1500; \leq 2000$	Sur Litoral					Lonquimay		Puerto Montt	
		Sur Interior							Puerto Varas	
		Sur Extremo							Ancud, Castro,	
ZONA 7	> 2000	Sur extremo							Chaitén	
		Andina		Putre, Colchane						Coyhaique P. Arenas

Fuente: Elaboración propia según Instituto de la Construcción 2006 E INN-2008.

Comentarios sobre las exigencias de comportamiento térmico en cerramientos de la envolvente de viviendas

Según puede verse en la Tabla 2, las exigencias de transmitancia térmica en muros son muy débiles en las zonas 1 y 2. Ello significa que es posible construir viviendas con muros de hormigón armado y de bloques de hormigón, lo que no es recomendable en localidades con muy bajas temperaturas en invierno, tales como Vallenar, Copiapó, María Elena, Pica y Pozo Almonte. Esto puede implicar que en estas localidades y en La Serena y Coquimbo, los fenómenos de condensación en muros sean recurrentes. El fenómeno de condensación superficial ocurre en elementos de la envolvente que presentan una alta transmitancia térmica. Cabe indicar, además, que en estas localidades, los requerimientos recomendables de aislación térmica en cielo son mayores a los establecidos en la RT.

TABLA 2 | Exigencias a elementos envolventes de la vivienda contenidas en la reglamentación térmica (artículo 4.1.10. Oguc)

ZONAS TÉRMICAS	TECHUMBRE		MUROS		PISOS	
	U (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)
ZONA 1	0,84	1,19	4,00	0,25	3,60	0,28
ZONA 2	0,60	1,67	3,00	0,33	0,87	1,15
ZONA 3	0,47	2,13	1,90	0,53	0,70	1,43
ZONA 4	0,38	2,63	1,70	0,59	0,60	1,67
ZONA 5	0,33	3,03	1,60	0,63	0,50	2,00
ZONA 6	0,28	3,57	1,10	0,91	0,39	2,56
ZONA 7	0,25	4,00	0,60	1,67	0,32	3,13

Fuente: OGUC. Artículo 4.1.10.

Una situación similar puede observarse en la Zona Térmica 2, en la cual puede construirse en albañilería de bloques de hormigón, con las consecuentes altas pérdidas de calor y los respectivos problemas de condensación severos. Este riego es alto en localidades del sur de la Zona, tales como la costa de la Regiones de Coquimbo y Valparaíso. El problema es aún más crítico al interior de ambas, donde existen inviernos con temperaturas muy bajas. En las Zonas 3, 4 y 5, donde se ubica gran parte de la población del país (desde la Región Metropolitana hasta la Araucanía, sin considerar el sector cordillerano) es posible que las viviendas puedan ser construidas en albañilerías de ladrillo, en ciertas ocasiones con estucos mejorados desde el punto de vista térmico. En estos casos hay que tener en cuenta que existe un alto riesgo de condensación en el mortero de pega de la albañilería, debido a la alta conductividad térmica de este material y que provoca zonas frías en la superficie interior de este sistema constructivo (Bustamante et al., 2009).

Las demandas de energía de calefacción que se consiguen en viviendas al aplicar en muros este tipo de sistemas constructivos (albañilerías de ladrillos cerámicos), están lejos de ser consideradas como eficientes desde el punto de vista energético. Un estudio de demandas de energía de calefacción (considerando 24 horas de confort interior) realizado para una muestra estadísticamente representativa de viviendas, en que se contemplan viviendas individuales y colectivas (de alta compacidad), muestra que en Madrid, en las viviendas nuevas que cumplen con las exigencias térmicas para esa ciudad, los valores fluctúan entre 40 kWh/m² año y 95 kWh/m² año. El valor medio esperable de demanda de energía de calefacción en esta ciudad para viviendas unifamiliares se estima en 64,4 kWh/m² año. Estos estudios consideraron 8 meses de calefacción (AICIA-Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Universidad de Sevilla. 2009). Cabe señalar que los GDc anuales base de 15°C para Madrid suman alrededor de 1100°C.

En Chile, un estudio para condiciones similares de temperatura interior, pero sólo para los 6 meses más fríos del año, estimó que la demanda de energía de calefacción de viviendas que cumplen con los estándares mínimos de la RT en Concepción (de GDc base 15°C similares a los de Madrid), con vidriado simple en ventanas, fluctúa entre 72 y 125 kWh/m² año, para viviendas unifamiliares de diferente compacidad (Bustamante et al., 2009). Otra investigación establece que para una vivienda unifamiliar de dos pisos, pareada, con primer piso de albañilería y el segundo de madera con 40 mm de aislante térmico y con vidriado simple en ventanas, se alcanza una demanda de energía de alrededor de 100 kWh/m² año, en Concepción. Este trabajo considera 18°C de temperatura interior en el día y 16 en la noche, a diferencia del anterior en que se consideró 20°C en el día y 17°C en la noche (Trebilcock et al., 2003).

En las Zonas 6 y 7, los sistemas constructivos de mayor uso en Chile (albañilerías de ladrillo y hormigón)⁵ deben adicionar aislante térmico. Salvo el muro de hormigón celular, que es de escasa penetración aún en el mercado nacional. Si bien en estas zonas se tienen mejores estándares en muros, ellos son todavía insuficientes para alcanzar demandas de energía de calefacción asociadas a eficiencia energética, si se compara con climas similares de países desarrollados. En las Zonas 6 y 7 existe una alta exigencia en el cielo de las viviendas, muy superior a lo que se exige en muros. El gran esfuerzo que se realiza en el cielo no es concordante con lo que se exige en muro, aspecto que en general se observa en las 7 Zonas térmicas.

En Punta Arenas, las demandas de energía de calefacción que cumplen con los estándares mínimos de la RT puede alcanzar los 300 kWh/m² año para viviendas unifamiliares (considerando 12 meses de calefacción) (Bustamante, 2004).

Por otra parte, en relación a cerramientos, no existe obligación en el país para el uso de doble vidriado hermético (DVH). En Zonas térmicas de climas muy fríos debiera ser ésta la solución a implementar. Hacia el norte del país, el tamaño de ventanas con vidrio monolítico puede considerarse alto si se utilizan hasta un 40 y 50% de superficie respecto de la envolvente total de la vivienda⁶. En el caso de edificios de altura de uso residencial, el tamaño de ventanas puede alcanzar hasta un 100% de la envolvente expuesta, lo que también podría ocurrir en la Zona 3, a la que pertenece gran parte de la Región Metropolitana. Esta alta superficie de ventanas, puede implicar falta de confort térmico (sobrecalentamiento) en verano y estaciones intermedias, si no se cuenta con las protecciones solares necesarias. Hacia el sur, en Zonas Térmicas 4 y 5, podría también existir un alto riesgo de sobrecalentamiento en el ambiente interior de las viviendas, en especial en edificios de altura y en las localidades interiores, donde existen altas temperaturas en verano (ver Tabla 3).

En resumen, es muy probable que tamaños de ventanas como los mostrados en la Tabla 3 generen severos problemas de sobrecalentamiento en primavera y verano, con un efecto muy negativo en el confort de las personas. Ello en gran parte del país, incluyendo zonas del sur interior.

-
5. La distribución porcentual de material predominante en muros de viviendas muestra que la participación de la albañilería de ladrillo alcanza en Chile un 30,1%, el hormigón 41,1 % y la madera un 11,6% (INE, 2007).
 6. La RT (OGUC artículo 4.1.10) establece un porcentaje de ventanas respecto del total de la envolvente vertical de cada unidad de vivienda, incluyendo tanto la envolvente expuesta, como la no expuesta al exterior. Es decir, para este cálculo también se consideran muros pareados y muros expuestos a pasillos en edificios de departamentos.

TABLA 3 Exigencias a porcentajes máximos de ventanas en la envolvente en la reglamentación térmica (artículo 4.1.10. Oguc)

	VENTANAS		
	% Máximo de ventanas respecto a paramentos verticales de la envolvente		
	Vidrio Monolítico	Doble Vidriado Hermético (DVH)	
		$3,6 \text{ W/m}^2\text{C} >= U > 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U > 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$
ZONA 1	50%	60%	80%
ZONA 2	40%	60%	80%
ZONA 3	25%	60%	80%
ZONA 4	21%	60%	75%
ZONA 5	18%	51%	70%
ZONA 6	14%	37%	55%
ZONA 7	12%	28%	37%

Fuente: OGUC Artículo 4.1.10.

Otros fenómenos relevantes relacionados con el confort y la eficiencia energética en viviendas

1. Condensación y ventilación en viviendas

Hasta ahora se ha analizado la RT en la que se definen estándares para limitar la transmisión de calor a través de la envolvente, basándose en condiciones de invierno. Otros dos fenómenos muy relacionados entre sí y que afectan al confort y al comportamiento térmico de las viviendas son: la condensación en sistemas constructivos junto a la ventilación y permeabilidad al aire de la envolvente.

El fenómeno de condensación se produce en la superficie interior de muros, ventanas, cielo, piso, puentes térmicos y otros elementos de la envolvente (condensación superficial). Además ocurre en sus intersticios debido a que el vapor (en invierno) en su intento por desplazarse hacia el ambiente exterior se transporta a través de porosidades de los materiales (condensación intersticial). Este transporte se hace simultáneamente con la transferencia de calor a través de la envolvente, la que induce un perfil de temperatura en función de las propiedades térmicas de las capas que conforman el sistema constructivo, el cual también depende de las condiciones de temperatura interior y exterior.

La RT (OGUC Artículo 4.1.10) sólo menciona que cuando el muro incorpore materiales aislantes "...la solución de muros deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada". Probablemente lo que debe

incluirse en la OGUC es la exigencia que todo sistema constructivo debe ser diseñado de modo tal que no ocurran en él fenómenos de condensación de acuerdo a lo indicado en la norma oficial que establece los métodos de cálculo para analizar la presencia o ausencia del fenómeno. Se trata de la Norma NCh 1973 Of 2008 que reemplazó recientemente a dos normas preexistentes de los años 1987 y 1988 (INN, 2008-2).

Los cálculos indicados en el párrafo anterior requieren de las propiedades térmicas y de resistividad al paso de vapor de los materiales usados en los sistemas constructivos. En general, las propiedades térmicas de los materiales de construcción son conocidas en el país, pero existe un desconocimiento prácticamente total de las propiedades relacionadas con el paso de vapor en los materiales de construcción, incluyendo todo tipo de film o láminas tales como recubrimientos, pinturas, impermeabilizantes que inciden de manera directa en la ocurrencia de condensación. A pesar de ello, en Chile existen normas de procedimientos de ensayo (INN, 2001).

El Itemizado Técnico de Construcciones para proyectos del Fondo Solidario de Viviendas también hace referencia al imperativo de usar barreras de vapor en el caso de usar materiales aislantes en muros (MINVU, 2009-3). Para ello es importante conocer las propiedades de resistencia al paso de vapor de todas las barreras posibles de usar. Un recubrimiento interior, tal como una pintura, podría jugar el rol de barrera de vapor, pero en Chile se desconocen –en general– las propiedades de este tipo de material. Es más, ciertos sistemas constructivos de muro, aún cuando contengan aislante térmico, podrían no mostrar riesgo de condensación, sin el uso de barreras de vapor.

La presencia de fenómenos de condensación en viviendas dependen en cierta parte de las propiedades higrotérmicas (conductividad térmica, resistencia y resistividad al paso de vapor) de los materiales usados en un sistema constructivo. Junto a lo anterior, la ocurrencia de estos fenómenos también depende de la presencia de vapor de agua en el ambiente interior de las viviendas. Si este contenido es alto, mayor es entonces el riesgo de condensación en la envolvente, en especial superficial. Para ello, es necesario limitar la producción de humedad en el interior y a su vez mantener el ambiente con ventilación permanente, de acuerdo a los estándares requeridos según el tamaño y cantidad de personas que habitan la vivienda. Como requerimiento básico de la ventilación es que ésta esté asegurada independientemente del comportamiento de los usuarios, la que puede ser forzada (mecánica) o natural. Para asegurar un buen control de calidad de aire interior en las viviendas sociales, incluyendo el contenido de humedad, el método más eficaz es la ventilación mecánica. El uso de ventilación mecánica (extractores) en baños y cocina debería ser exigido en todas las viviendas en general, incluidas las

de subsidio habitacional. Este tipo de ventilación permite un mejor control de los flujos de aire intercambiados. Se evita así la sobre-ventilación (que implica mayor gasto de energía) y además se asegura el intercambio mínimo de aire para la calidad ambiental interior y el control de la humedad dentro de los rangos de confort.

2. Permeabilidad al aire de la envolvente

No se conocen investigaciones realizadas a nivel nacional que permitan observar el comportamiento de las viviendas en relación a la permeabilidad al aire de la envolvente en diferentes regiones. Por otro lado, tampoco existen muchos laboratorios que cuenten con los equipos idóneos para realizar estas mediciones. Sin embargo, es posible intuir que esta propiedad está lejos de los estándares que se han supuesto en diversos estudios teóricos sobre el comportamiento térmico de edificios residenciales. Las investigaciones para establecer los estándares actualmente incluidos en la RT supusieron un intercambio de aire equivalente a 1.0 volumen por hora (ello significa que cada hora, el volumen de aire completo de la vivienda se intercambia con aire del exterior) (U. de Concepción, 2001). El software de cálculo de comportamiento térmico de viviendas (CCTE_V2.0) del MINVU también utiliza este estándar de ventilación para calcular demandas de energía de calefacción.

El Laboratorio de Física de la Construcción de la U. del Bío Bío ha realizado mediciones de permeabilidad al aire de la envolvente de viviendas en esa región, obteniendo valores que fluctúan entre 1,98 (para una vivienda de albañilería) hasta 8,36 volúmenes hora (para una vivienda de madera) (Bobadilla A. 2009). Los estudios de demandas de energía de calefacción realizados para establecer los estándares de la 2^a Etapa de la RT (U. de Concepción, 2001), y otros similares, consideran un intercambio de aire de 1,0 volumen por hora, lo que permite concluir que la demanda de energía de calefacción está fuertemente afectado por las infiltraciones de aire, alcanzando una participación que varía entre un 24 y 73 % del total. En otras palabras, en esa región a lo menos, la RT podría estar actuando en un rango de entre un 27 y 76% del consumo total de energía de calefacción (Ver Tabla 4). Los datos de esta tabla han sido estimados para una vivienda unifamiliar de 42 m², aislada y que cumple con los estándares mínimos de la RT en muros y cielo. Las ventanas son de vidriado simple. El control de las infiltraciones de aire es un imperativo en la construcción de viviendas. Las estimaciones de demandas de energía se hicieron con un software en régimen dinámico (TAS).

TABLA 4 | Demanda de calefacción en una vivienda unifamiliar aislada según diferentes tasas de intercambio de aire. En Concepción

Tasa de intercambio de aire en volúmenes por hora	Demanda de calefacción anual	Incremento en demanda de energía respecto de caso 1,0 vol/h	Transmisión	Ventilación
1/h	kWh/m ² año	%	%	%
1	125		76	24
2	157	26	61	39
3	188	50	51	49
4	220	76	43	57
6	283	126	34	66
8	347	178	27	73

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 muestra que en la vivienda analizada (de 42 m², aislada) podría anularse totalmente el esfuerzo de mejorar térmicamente el muro (al disminuir su transmitancia térmica de 1,7 W/m² °C a 0,6 W/m² °C) en la ciudad de Concepción. Con una tasa de intercambio de aire de 2,0 Vol/h en la vivienda térmicamente mejorada, se alcanza una demanda de energía de calefacción levemente inferior a la de esta misma vivienda, con un envolvente que cumple los estándares mínimos de la RT, en la ciudad de Concepción.

TABLA 5 | Efecto de la infiltración de aire en demandas de energía de vivienda con muro térmicamente mejorado

Tasa de intercambio de aire en volúmenes por hora	Tipo de muro	Transmitancia Térmica muro	Demanda de calefacción anual	Transmisión	Ventilación
1/h		kWh/m ² año	%	%	%
1	Albañilería de ladrillo	1,7	125	76	24
1	Madera 50 mm de aislante térmico	0,6	103	70	30
2	Madera 50 mm de aislante térmico	0,6	122	59	41
3	Madera 50 mm de aislante térmico	0,6	166	43	57

Fuente: Elaboración propia.

3. Sistemas de calefacción y los tipos de energéticos

Estudios que existen en el país indican que en el espacio interior de las viviendas, la contaminación alcanza límites superiores a lo que ocurre en el ambiente exterior, lo que puede estar generando problemas de salud de las personas. Un estudio realizado en 24 viviendas de la comuna de La Pintana, en la Región Metropolitana, permitió concluir que los habitantes de estas viviendas están expuestos a niveles altos de contaminación intradomiciliaria. Las fuentes principales de estos contaminantes son los sistemas de calefacción utilizados (Cáceres et al., 2001). Aquí se presentan algunos de los datos entregados por el trabajo realizado en el invierno de 1997: se monitoreó por 24 horas la presencia de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), material particulado respirable PM10, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) absorbidos en PM5, temperatura y humedad. El monitoreo se realizó en salas de estar y/o comedor. Se realizó un registro de contaminación exterior en las cercanías de las viviendas. Una persona del hogar registró horas de encendido de calefacción y uso de cigarrillos. Se alcanzó un promedio de 5,5 horas de horas de calefacción. En el 90% de las viviendas existía algún sistema de calefacción. Los combustibles más utilizados fueron kerosene (77%), gas licuado (16%), carbón (9%), leña (6%) y electricidad (3%). Las viviendas eran de un promedio de 33 m². Los materiales de muros más comunes eran el ladrillo y la madera. Un 60% presentaba piso de concreto, un 42% de madera y un 11% de tierra. (Cáceres et al., 2001).

El estudio determinó que las concentraciones de los contaminantes analizados fueron significativamente superiores en el interior que en el exterior. Se observó que las concentraciones de PM10 y CO en la mayoría de las casas que usaron combustibles contaminantes (leña, carbón, kerosene y gas) fueron superiores a lo establecido por las normas, en especial durante las horas de calefacción. Las máximas concentraciones promedio de 24 h para PM10 se dieron en viviendas que usaban estos combustibles aún cuando en ellas no existía consumo de cigarrillos. En cuanto a las concentraciones interiores de HAPs totales y cancerígenas en PM5, éstas superaron en 6,0 y 6,5 veces las concentraciones medidas en el exterior, respectivamente. Estas concentraciones fueron significativamente mayores a las medidas en espacios interiores en el centro de Santiago, a pesar de que aquí la concentración de HAPs en el exterior fue significativamente inferior a lo medido en el exterior en La Pintana (Cáceres et al., 2001; Adonis et al., 1997).

En un estudio más reciente, realizado en el invierno de 2007, en las comunas de Santiago y Las Condes, se monitorearon 24 viviendas midiendo material particulado fino (MP2.5) y ultrafino, NO₂ y SO₂, contaminantes que pueden provocar efectos negativos en la salud de las personas. Se observó que en cuanto MP 2.5, todas las viviendas superaban lo establecido por las normas de la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos

(EEUU) que establece un máximo de 35 mg/m³). El kerosene fue el combustible más crítico al respecto. En cuanto a la concentración promedio de NO₂, en viviendas que usaban éste combustible, se alcanzó una concentración promedio de 65,4 ppb, superando significativamente la máxima establecida por la EPA (53 ppb). Es precisamente este combustible el que generó las máximas concentraciones en todos los contaminantes medidos (U. de Harvard, 2007).

Finalmente, cabe mencionar un trabajo realizado para determinar la asociación entre contaminación intradomiciliaria con sintomatología respiratoria y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en personas de más de 40 años. No se encontró asociación entre la contaminación intradomiciliaria y la EPOC, sin embargo, se determinó asociación entre síntomas respiratorios crónicos con contaminantes intradomiciliarios en mujeres (Solis, 2008).

Los estudios analizados muestran la presencia de contaminantes en el interior de las viviendas por efecto de uso de sistemas de calefacción que expulsan los gases de combustión al ambiente interior (llama abierta). Estos sistemas además generan -en algunos casos –vapor de agua (en estufas a gas y kerosene) y son altamente peligrosos desde el punto de vista de la seguridad contra incendios. Tal como ya ocurrió en los países desarrollados, en el nuestro debe establecerse una estrategia para prohibir su uso en el futuro más cercano posible. Mientras tanto, el uso de estos sistemas constituye otra justificación más para incorporar en las viviendas sistemas de ventilación mecánica controlada. En todo caso, la utilización de estos sistemas de calefacción, que generan contaminantes y vapor de agua, exigen una mayor ventilación de las viviendas que sistemas que expulsan productos de la combustión hacia el exterior.

Incrementos en la eficiencia energética de viviendas sociales

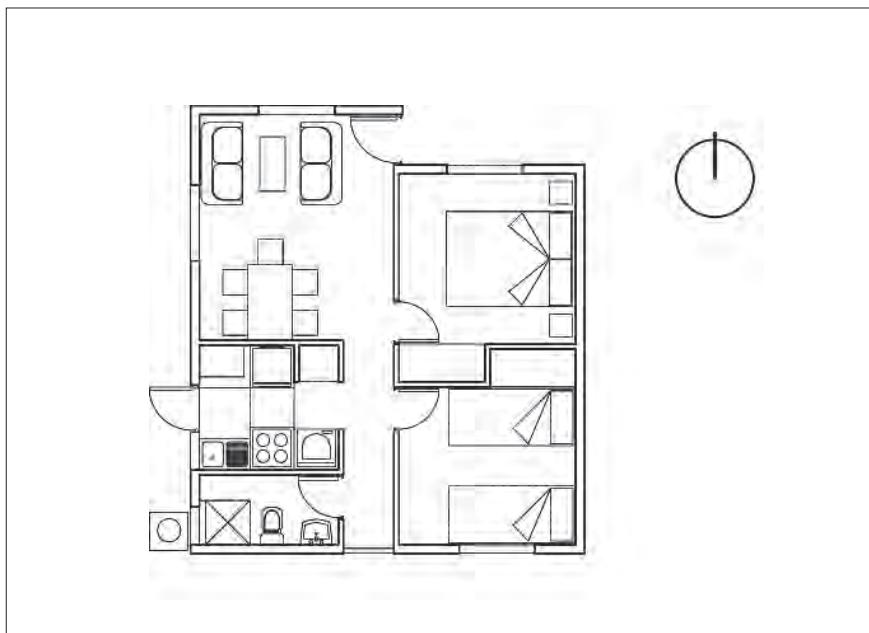
Con el propósito de establecer el impacto en la disminución en las demandas de energía de calefacción, se realiza un estudio de diferentes tipologías de viviendas a las que se aplican los estándares de la RT vigente. Especificando la localidad en que se supone ubicada y distintos mejoramientos en su envolvente, para evaluar tanto en impacto en el comportamiento térmico como en los costos involucrados⁷.

En primer lugar se evalúa la tipología de vivienda de un piso, diseño recurrente en el país, la que se supone aislada, pareada y continua. A esta vivienda

7. Para determinar los costos de las diferentes tipologías de vivienda, se tomó como base que estarían en localidades urbanas. Los costos y presupuestos de las distintas tipologías de viviendas fueron realizados por la constructora CreaProgress. Los datos para determinar diferencias porcentuales en cuanto a precio por efecto de localización fueron facilitados por la Constructora Nómade.

se le ha denominado **Vivienda social tipo** (Figura 5). Sus especificaciones técnicas consideran un muro perimetral en albañilería de bloque de hormigón en las Zonas Térmicas 1 y 2 y albañilería de ladrillo en Zonas Térmicas 3, 4 y 5. Tanto en muros como en cielo se cumple con el mínimo exigido por la RT vigente. Las ventanas son de vidrio simple. Se supone en todos los casos una tasa de renovación de aire de 1,0 volúmenes por hora. Las demandas de energía suponen una temperatura de 20°C entre las 7:00 y las 23:00 horas. En el resto del día se establece una temperatura mínima de 17°C.

FIGURA 5 | **Vivienda social tipo**



Fuente: Elaboración propia.

Para un segundo grupo de viviendas, al que se ha llamado **Vivienda mejorada**, se supone un mejoramiento en la envolvente de la vivienda social tipo, con el fin de lograr una disminución en las demandas de energía de calefacción. Se evalúan estas demandas y el costo asociado al mejoramiento supuesto.

El mejoramiento indicado se refiere a la incorporación de la siguiente especificación:

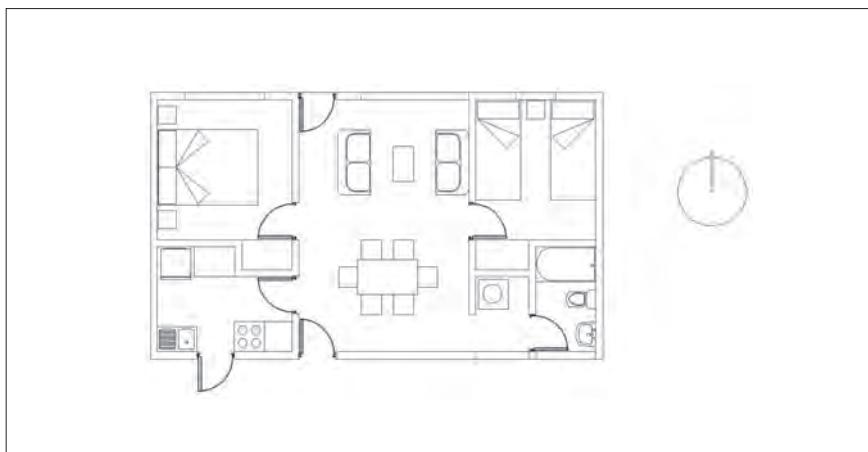
- En las Zonas Térmicas 2, 3, 4 y 5 aislación exterior en muros perimetrales de 20 mm de poliestireno expandido (conductividad térmica de 0,038 W/m°C)

y revestimiento de 8.0 mm de fibrocemento. En las Zonas Térmicas 6 y 7, aislación exterior en muros perimetrales de 50 mm de poliestireno expandido de idéntica conductividad térmica y revestimiento de 8.0 mm de fibrocemento.

- Doble vidriado hermético en todas las ventanas y en todas las Zonas Térmicas.
- Extractores para ventilación forzada en baño y cocina (en todas las Zonas Térmicas).
- Se consideran las precauciones necesarias para lograr una alta hermeticidad al aire en la envolvente.

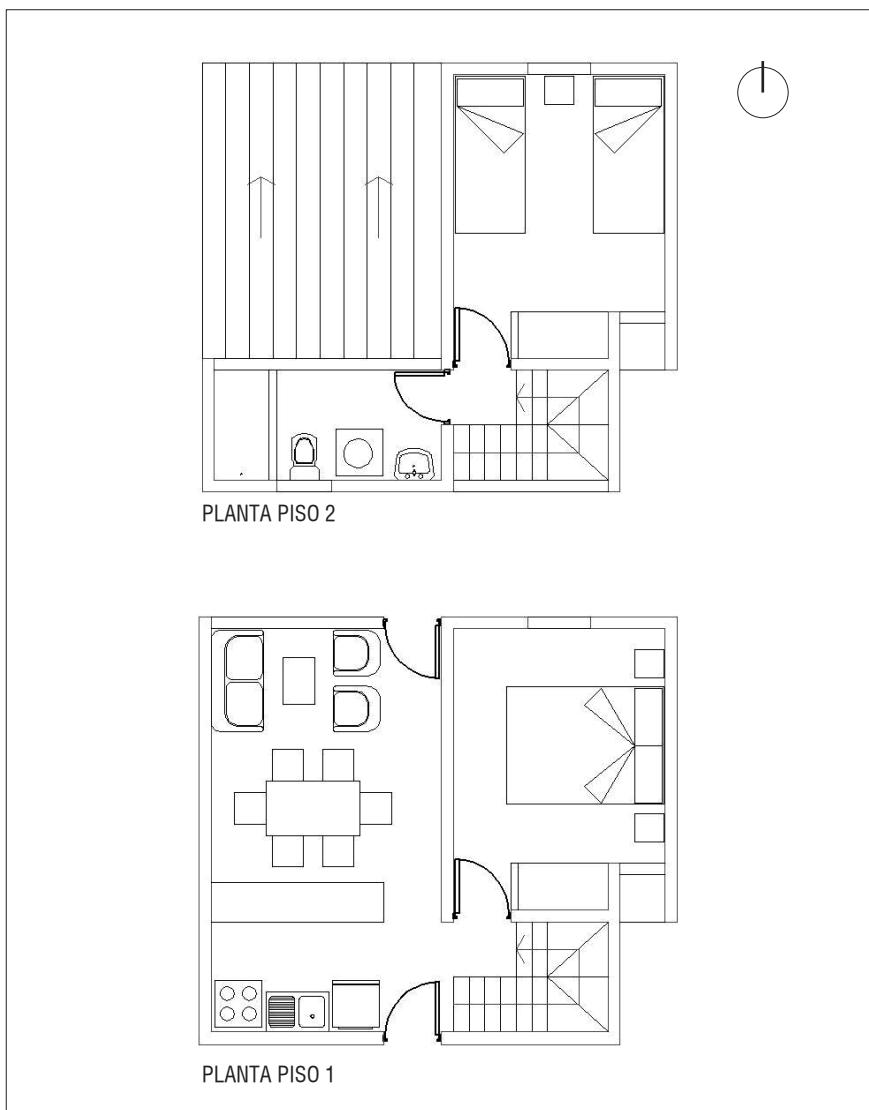
El tercer grupo evalúa los costos y las demandas de energía de dos viviendas en uno (Figura 6) y dos pisos (Figura 7). Estas incorporan las especificaciones de la vivienda mejorada, más 25 mm de poliestireno extruido bajo radier y con un diseño arquitectónico que prioriza el acceso solar norte a los recintos principales de la casa (dormitorios, sala de estar y comedor). En el caso de Punta Arenas se consideró 60 mm de aislante térmico exterior. A este grupo se le denominó **Vivienda eficiente energéticamente**. Para la determinación de costos de las diferentes tipologías de vivienda, se tomó como base que éstas estarían en localidades urbanas.

FIGURA 6 | Vivienda social de un piso con criterios de eficiencia energética



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7 | Vivienda social de dos pisos con criterios de eficiencia energética



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 muestra demandas de energía para la vivienda de 1 piso, considerando diferentes tipos de pareo para los 3 grupos de viviendas descritos.

Se observa en la Tabla 6 una disminución significativa en las demandas de energía de calefacción en las viviendas, al aplicar los mejores estándares de aislamiento térmico (según las especificaciones mencionadas) en la envol-

mente de ellas. Si bien estas demandas consideran 24 horas de calefacción, éste es un indicador de calidad que implica que en las viviendas el uso de un determinado sistema de calefacción aún en un corto período del día, prolongará su efecto en el ambiente en proporción similar a la disminución de los requerimientos de energía aquí indicados. En estas viviendas las personas realizarán sus actividades en mejores condiciones de temperatura en invierno mientras no exista sistema de calefacción en funcionamiento.

TABLA 6 | Demandas de energía de calefacción en viviendas sociales y efectos en el mejoramiento con criterios de eficiencia energética

Zona Térmica	Zona Climática	Ciudad	Tipología de vivienda	Vivienda tipo		Vivienda mejorada		Vivienda criterios EE	
				Costo básico UF	Demandas de energía de calefacción kWh/m ² año	Costo básico UF	Demandas de energía de calefacción kWh/m ² año	Costo básico UF	Demandas de energía de calefacción kWh/m ² año
1	NL	Arica	1 piso aislada	340	10	441			
			1 piso pareada	336	9	395			
			1 piso continua	322	7	399			
1	NVT	Copiapó	1 piso aislada	340	56	441	36	448	21
			1 piso pareada	336	50	395	34	425	19
			1 piso continua	322	45	399	32	405	17
2	ND	Calama	1 piso aislada	380	132	441	98	448	52
			1 piso pareada	376	123	395	93	425	50
			1 piso continua	362	115	399	91	405	45
2	CL	Valparaíso	1 piso aislada	380	82	441	59	448	38
			1 piso pareada	376	75	415	57	425	36
			1 piso continua	362	71	402	55	405	34
3	CI	Santiago	1 piso aislada	380	100	441	80	448	53
			1 piso pareada	376	93	415	76	425	51
			1 piso continua	362	87	402	73	405	48
4	SL	Concepción	1 piso aislada	380	120	441	103	448	65
			1 piso pareada	376	113	415	99	425	62
			1 piso continua	362	107	402	95	405	59
4	CI	Chillán	1 piso aislada	340	131	441	113	448	72
			1 piso pareada	336	123	395	107	425	68
			1 piso continua	322	116	399	102	405	65
5	SI	Temuco	1 piso aislada	340	136	441	122	448	77
			1 piso pareada	336	130	395	118	425	75
			1 piso continua	322	125	399	115	405	71
5	SL	Valdivia	1 piso aislada	340	138	441	124	448	80
			1 piso pareada	336	133	395	120	425	78
			1 piso continua	322	128	399	117	405	74
6	SL	Puerto Montt	1 piso aislada	340	141	441	126	448	82
			1 piso pareada	336	135	395	122	425	80
			1 piso continua	322	129	399	118	405	76
7	SE	Punta Arenas	1 piso aislada	470	272	511	252	518	172
			1 piso pareada	466	260	507	243	513	163
			1 piso continua	452	252	493	236	500	155

Nota: Las demandas de energía de calefacción se estiman para los 6 meses más fríos del año en todas las ciudades, salvo en Punta Arenas donde se consideró el año completo.

Fuente: Elaboración propia.

La disminución de las demandas de energía de calefacción varían entre un 6% en Punta Arenas hasta un 36 % en Copiapó. Sin embargo, si se asume un diseño arquitectónico con criterios de orientación de ventanas para un mayor acceso de radiación solar directa en los espacios principales, junto con el aislamiento térmico bajo radier, esta demanda de energía decrece entre un 38% en Punta Arenas y un 62 % en Copiapó, respecto de la vivienda social tipo.

La vivienda mejorada aumenta su costo entre 40-60 UF por sobre lo que considera el subsidio para la ciudad correspondiente, cuando este subsidio es de 370UF (a lo que se agrega lo que aporta el destinatario de la vivienda). El desglose de estos costos dada la especificación propuesta de mejoramiento es de: 85% por la aislación en muros; 11% por ventana con doble vidriado hermético; 4% por la incorporación de extractores de ventilación forzada en baño y cocina y mejoramiento de la permeabilidad al aire. Cuando el subsidio base es menor (por ejemplo 330UF), el aumento del costo por mejoramiento aumenta, hasta alrededor de 100 UF.

Nótese que en el Texto Actualizado del Decreto Supremo N° 174 se observan idénticos subsidios para localidades que presentan climas muy distintos en cuanto a su temperatura ambiental exterior. De otro modo, localidades de climas similares, incluso dentro de una misma región, presentan valores de subsidio habitacional muy diferentes. Por ejemplo, Quintero tiene un subsidio de 330 UF, mientras que en Puchuncaví, éste es de 370 UF. Por otro lado, Valparaíso con clima similar al de Quintero cuenta con subsidio de vivienda nueva de 370 UF. La severidad climática en Calama es significativamente más crítica (en invierno) que la de Antofagasta, sin embargo, ambas localidades tienen idéntico monto de subsidio para viviendas nuevas (370 UF). Situaciones similares se observan en otras localidades del país. Así, este es otro aspecto a redefinir en función de la severidad del clima. Para el confort con eficiencia energética es recomendable considerar también el clima al momento de establecer el valor del subsidio habitacional.

En cuanto a la vivienda diseñada con criterios de eficiencia energética, con una demanda de energía de calefacción aún menor que la vivienda mejorada, los costos de construcción son sólo levemente mayores que la última. Cabe también señalar, que en el caso de la vivienda de dos pisos diseñada con criterios de eficiencia energética, en general, su demanda de energía disminuyó entre un 25 y 30% respecto de la vivienda de un piso diseñada con idénticos criterios, teniendo ambas costos muy similares. En la vivienda de dos pisos, su mayor compacidad juega un rol importante en la disminución de las demandas de energía de calefacción. Cabe hacer notar que el diseño aquí expuesto presenta la posibilidad de una ampliación a un segundo piso que mejora esta compacidad.

Bajo las mismas tipologías, se realizaron estudios de costo y demandas de energía de calefacción para viviendas con la misma especificación de la vivienda mejorada, salvo el muro envolvente que se especifica en un panel estructurado en madera con cámara de aire exterior ventilada y aislante térmico de 90 mm. En un principio los costos aparecen similares a los otros materiales, pero la posibilidad de construir los paneles prefabricados trae una disminución de un 10% en el costo, debido a la disminución de los tiempos de ejecución, la que además se realiza con un eficiente control de calidad de la construcción. Se estima que al usar este sistema constructivo en muros, la demanda de energía se reduce aproximadamente entre un 30 y un 50%, respecto de una vivienda que se construye con muros de albañilería de ladrillo, sin aislamiento térmico.

Comentarios y recomendaciones finales

1. Algunas consideraciones para políticas futuras de eficiencia energética en vivienda social

De acuerdo a lo expuesto en el presente trabajo se resume a continuación un conjunto de sugerencias que apuntan a mejorar la RT de viviendas vigente y otros documentos oficiales relacionados con la vivienda social, con el propósito de avanzar en su mejoramiento para incrementar su comportamiento térmico. A continuación se detallan estas propuestas:

- a. Las exigencias de la RT no son necesariamente las recomendadas para la eficiencia energética de la vivienda. Esta eficiencia requiere elevar los estándares de comportamiento térmico de algunos de los elementos de la envolvente.
- b. La RT está asociada a comportamiento de invierno, por lo que la aplicación de las exigencias mínimas puede generar problemas críticos por sobrecalentamiento en el interior de viviendas en vastas zonas del país. Esto se origina porque cerramientos vidriados expuestos a la radiación solar en períodos de calor, en general, no contemplan protección solar. El confort para las restantes estaciones del año se consigue con estrategias complementarias a las de invierno.
- c. Se sugiere considerar la restricción de infiltraciones de aire a través de la envolvente. Está demostrado que en períodos de calefacción se pueden disminuir significativamente, o incluso, anular el esfuerzo por mejorar la transmitancia térmica exigida por la propia RT. Estas restricciones podrían formar parte del Itemizado Técnico de Construcción para proyectos de subsidio habitacional (D.S. 174 y sus modificaciones).
- d. Se recomienda establecer estándares de permeabilidad al aire y permeabilidad al agua lluvia en ventanas. Existe un estudio en el país que propone

estos estándares de acuerdo a una zonificación de viento y precipitaciones (Instituto de la Construcción et al., 2005).

- e. Se propone establecer patrones de ventilación ligados al mejoramiento de la calidad de aire interior y a la limitación de vapor de agua. Es altamente aconsejable generar exigencias al respecto haciendo uso de sistemas mecánicos de ventilación controlada. Ello también podría ser parte del Itemizado Técnico indicado en el punto anterior.
- f. Se recomienda exigir la medición de las propiedades de permeabilidad al aire de los materiales de construcción, incluidos todos los recubrimientos, haciendo uso de la normativa nacional existente.
- g. También es necesario incorporar protección térmica de puentes térmicos. La presencia de ellos, junto con generar pérdidas de calor adicionales en invierno, son fuente crítica para la generación de problemas de condensación en la superficie interior, con el consiguiente deterioro acelerado de los sistemas constructivos. Además provocan problemas de habitabilidad a los usuarios de viviendas.
- h. Se recomienda incluir también estándares de protección térmica en pisos no ventilados. En especial en climas fríos o muy fríos, la presencia de esta protección implica una alta disminución de pérdidas de calor en las viviendas.
- i. En aquellas zonas del país donde los problemas de confort en viviendas son tanto o más críticos en verano que en invierno, como la Región Metropolitana, la RT debería establecer exigencias para períodos de enfriamiento en las diferentes regiones del país.
- j. Es altamente recomendable la transformación de la zonificación térmica de la RT. Como se ha analizado en el documento, ésta no considera la complejidad de la variación climática del país. La nueva zonificación térmica debería ajustarse a lo establecido en la zonificación climático habitacional de la Norma Oficial NCh1079-2008.
- k. Uno de los efectos importantes de la RT es la aparición en el mercado de nuevos materiales y sistemas constructivos que ofrecen soluciones y permiten su cumplimiento. Ello es una buena señal, pues muestra que el mercado se acomoda a las nuevas exigencias. Sin embargo, resta evaluar los problemas que han tenido que enfrentar las empresas constructoras y proveedoras de estos sistemas en la aplicación de estas tecnologías.
- l. Es necesario estudiar el nivel de aplicación de la RT en los proyectos de vivienda social y revisar si se aplican de modo correcto los sistemas constructivos existentes en el mercado y si se instalan correctamente los aislantes térmicos. Esta fiscalización debería tener una respuesta concreta en la aplicación de políticas complementarias a la reglamentación térmica.

ca actual. En este sentido, el país requiere sistemas de certificación de calidad que apunten a evaluar los proyectos arquitectónicos y sus etapas posteriores en la construcción y operación de los edificios.

- m. Se recomienda evaluar, bajo la perspectiva del mejoramiento térmico de las viviendas sociales, el monto de subsidio mínimo en las comunas de Chile considerando las solicitudes climáticas a que se someten las viviendas. Ello en el texto actualizado del Decreto Supremo N° 174 (V. y U.).
- n. De aplicarse un aumento en los subsidios para mejorar térmicamente las viviendas, en ciertos casos (clima de Arica, por ejemplo, donde no se requiere calefaccionar las viviendas) podría ser utilizado en otros sistemas asociados a la eficiencia energética de las viviendas, tal como, por ejemplo, –en este caso específico– para el uso de un sistema solar de calentamiento de agua.

2. Confort y eficiencia energética

Dentro de los objetivos propuestos por parte de los organismos estatales para la aplicación de la RT están el mejorar las condiciones de confort de los habitantes y/o disminuir el consumo de energía de calefacción. Es difícil cuantificar lo que se ha conseguido con la aplicación de la RT, fundamentalmente debido a que no se conocen estudios previos a la aplicación de este instrumento para utilizarlos de referencia. Dado el alto número de viviendas sociales que se construyen en el país, es de gran importancia contar en el breve plazo con una investigación que permita conocer las condiciones ambientales (temperatura, humedad, calidad del aire) en que habitan los chilenos en sus viviendas y los consumos de energía de calefacción que normalmente se están realizando. Esta sería una referencia a partir de la cual se podría evaluar en el futuro el impacto conseguido con la aplicación de las políticas de eficiencia energética en este sector de edificios.

Es perfectamente posible suponer que la aplicación de la reglamentación térmica en este tipo de viviendas conlleve a una disminución no significativa en el consumo de energía de calefacción, a pesar de ello, lo que se estaría consiguiendo sería más bien un mejoramiento en las condiciones ambientales de quienes las habitan.

Estudios internacionales muestran que el incremento en la calidad térmica de las viviendas no necesariamente implica una disminución en el consumo de energía de calefacción en directa concordancia con tal incremento. Estos trabajos indican, además, que la lógica del usuario puede incluso hacer crecer tal consumo, en la medida que éste observe la mayor eficiencia con que responde su vivienda al consumo de energía (Sorrel S., et al., 2009; Jin S.H., 2007).

En este sentido, en Chile el efecto “rebote” es absolutamente esperable, en especial en viviendas sociales, dado que sus habitantes destinan una parte de su presupuesto muy pequeño al consumo de combustible para calefacción. A pesar de que la información estadística de ingresos y gastos familiares del INE no permite establecer con precisión el gasto de energía en calefacción de acuerdo a tipo de quintil de que se trate, es razonable proyectar la política pública considerando este efecto.

3. El futuro: la certificación energética

En el futuro inmediato, el MINVU junto a la Comisión Nacional de Energía, están proyectando la aplicación de un sistema de certificación de viviendas, en que se establecerá un sistema de etiquetado energético del comportamiento térmico teórico de ellas. Esta certificación es altamente pertinente puesto que envía una señal al mercado de viviendas sobre la importancia de la calidad de éstas y que pueden tener un impacto positivo en la disminución de las demandas de energía de calefacción y enfriamiento.

Cabe indicar además, que el etiquetado en Chile debería tener una directa relación con el clima en que se localiza el proyecto de vivienda, cuestión no resuelta de manera efectiva a través de la zonificación térmica, tal como se ha señalado.

Finalmente, la aplicación de un sello de eficiencia energética debería tener un control estricto tanto en la fase de proyectos como en la fase de construcción. La deficiente aplicación de un sello de este tipo sin un control adecuado, puede tener un efecto negativo en la validación de éste en el mercado. Experiencias en Bélgica (Energie+) y Francia (Qualitel) lo demuestran. Incluso se hace necesario la comprobación de calidad energética de las viviendas una vez terminados los proyectos, haciendo uso de procedimientos normados, tales como las mediciones de permeabilidad al aire con *blower doors* y con fotografías infrarrojas. Todo lo anterior exige la acreditación de laboratorios y/u oficinas consultoras que realicen los controles correspondientes.

Al respecto, la fiscalización del proyecto, de las obras y la acreditación de las viviendas terminadas, con ensayos *in situ* normados son altamente efectivos para lograr que la vivienda tenga el comportamiento proyectado en su diseño. La política pública debería definir un sistema de control para la eficiencia energética de edificios en que se consideren los elementos indicados, con aseguramiento de la calidad en todas las fases del proyecto.

Por otra parte, en el sistema de certificación mencionado, es pertinente que se establezcan índices de comportamiento ambiental tanto en períodos de enfriamiento como en los de calefacción. Se debe considerar el clima del lugar, para lo cual se recomienda un exhaustivo análisis de la vivienda en régimen dinámico. Se sabe que la Zonificación Térmica no fue establecida para com-

portamientos en períodos de enfriamiento, por lo que ello es otro argumento para rediseñar en el país este sistema. Los estándares a exigir para períodos de enfriamiento no deberían estar establecidos en base a las exigencias mínimas actuales de la RT. Ello por cuanto con la aplicación de estos estándares se tendrían demandas altas de enfriamiento debido a la alta superficie de ventanas posibles de usar en ciertas zonas del país. Éstas instaladas sin protección solar en viviendas pueden generar problemas de sobrecalentamiento. De este modo, el estándar mínimo (con criterios de eficiencia energética) para períodos de enfriamiento no es concordante con lo exigido actualmente en la RT.

Conclusiones

Se han analizado un conjunto de instrumentos que regulan la construcción de viviendas sociales, tales como la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Artículo 4.1.10), el “itemizado técnico” de viviendas sociales, el Decreto Supremo N° 174 (V. y U.) y diversas normas del Instituto Nacional de Normalización (INN). Estos instrumentos, junto a otros que se desarrollarán en el futuro (tales como el sistema de certificación energética de viviendas), son la base fundamental en que se establecen los lineamientos básicos que inciden directamente en la calidad ambiental y la eficiencia energética de las viviendas sociales. El mejoramiento de estas viviendas para incrementar el confort de sus usuarios y lograr mayor eficiencia en el uso de la energía para acondicionamiento térmico, requiere de la máxima coherencia entre estos instrumentos, a los que se deben agregar otros, tales como normas de procedimientos de ensayo para determinar comportamientos de materiales (permeabilidad al aire de puertas y ventanas, propiedades de permeabilidad al vapor de agua), normas para determinar comportamientos globales de viviendas (permeabilidad al aire de la envolvente), estándares para períodos de enfriamiento y la definición de protocolos para el control de todas las fases de los proyectos de construcción de viviendas sociales.

Se han estudiado diversas estrategias de mejoramiento de viviendas sociales, pudiendo establecer que en ciertas localidades del país un aumento en su costo de construcción (entre 40 y 60 UF) implica un significativo impacto en el uso eficiente de la energía de calefacción. En lugares donde el monto del subsidio es de 330UF, el incremento del costo para el mejoramiento térmico de las viviendas es significativamente mayor. El indicado impacto en el incremento de la eficiencia energética en vivienda social, está directamente asociado al mejoramiento en las condiciones de vida de los habitantes de menores ingresos del país.

Actualmente se están desarrollando acciones estatales para mejorar la calidad térmica de las viviendas existentes. Dado el mayor número de éstas respecto de las viviendas que se construyen anualmente, las citadas acciones podrán

alcanzar un impacto mayor en relación a los consumos de energía de acondicionamiento térmico que lo que se logre con el mejoramiento de viviendas nuevas. Sin embargo, de continuar con los actuales estándares de calidad térmica aplicados a los edificios residenciales que se construyen anualmente, en pocos años más, muy probablemente tendrán que aplicarse instrumentos para el reacondicionamiento de las viviendas que se construyen actualmente con los estándares mínimos de la Reglamentación Térmica (RT) vigente. Ello porque la RT y sus estándares no son necesariamente sinónimo de eficiencia energética en viviendas. Cabe entonces preguntarse: ¿Es más conveniente incrementar hoy el subsidio para lograr una mayor eficiencia energética en las viviendas sociales o esperar entregar montos similares de subsidio para su mejoramiento en un futuro, probablemente no muy lejano, cuando exista una crisis mayor de la energía y en que, además, la población de menores recursos, haya incrementado su poder adquisitivo y por tanto aumente su gasto en calefacción?

Referencias

- Adonis, M., Cáceres, D., Moreno, G., y Gil, L.**, 1997. Infiltración de aire exterior y su influencia en la calidad de aire interiores. En: Gil, L. y Adonis, M., editores. *Calidad de aire de interiores*. Santiago: Editorial Universitaria, 129-152.
- AICIA**-Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Universidad de Sevilla, 2009. *Escala de calificación energética. Edificios de nueva construcción*. Madrid: IDAE.
- Bustamante, W., Cepeda, R., Encinas, F., Martínez, P. y Rozas, Y.**, 2009. *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo y Programa País Eficiencia Energética.
- Bobadilla, A.**, 2009. *Permeabilidad al aire de viviendas*. Concepción: Laboratorio de Física de la Construcción, Universidad del Bío Bío.
- Cáceres D., Adonis, M., Retamal, C., Ancic, P., Valencia, M., Ramos, X., Olivares, N. y Gil, L.**, 2001. Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de La Pintana. *Revista Médica de Chile*, 129 (1), 33-42.
- CNE/GTZ**, 2008. *Determinación de la Línea Base “Anual” para la Evaluación de la Inversión en Eficiencia Energética en el Sector Residencial. Invierno 2007-Verano 2008*. Santiago: Programa País Eficiencia Energética y GTZ.
- Instituto de la Construcción e Innova Chile**, 2005. *Guía para la prevención de patologías en las viviendas sociales*. Santiago: Instituto de la Construcción.
- Instituto de la Construcción**, 2006. *Manual de Aplicación Reglamentación Térmica*. Santiago: Instituto de la Construcción.
- Instituto Nacional de Estadísticas**, 1998. *Encuesta de Ingresos y Gastos familiares 1997*. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas, INE.
- Instituto Nacional de Estadísticas**, 2007. *Anuario de Edificación*. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas, INE.

- Instituto Nacional de Normalización**, 2001. *NCh2457.Of2001 Materiales de construcción y aislación - Determinación de la permeabilidad al vapor de agua.* Santiago: Instituto Nacional de Normalización, INN.
- Instituto Nacional de Normalización**, 2008-1. *NCh 1079-2008. Arquitectura y Construcción. Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.* Santiago: Instituto Nacional de Normalización, INN.
- Instituto Nacional de Normalización**, 2008-2. *NCh 1972 Of 2008. Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación – Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial – Métodos de cálculo.* Santiago: Instituto Nacional de Normalización, INN.
- Jin, S.H.**, 2007. The effectiveness of energy efficiency improvement in a developing country: Rebound effect of residential electricity use in South Korea. *Energy Policy*, 35. 5622-5629.
- MINVU**, 2009-1. *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.* Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU.
- MINVU**, 2009-2. *Texto Actualizado del Decreto Supremo N° 174.* Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- MINVU**, 2009-3. *Itemizado Técnico de Construcción para Proyectos del Programa Fondo Solidario de Vivienda, para el Sistema de Subsidio Habitacional Rural y para el Programa de Protección del Patrimonio Familiar.* Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Observatorio Habitacional MINVU**, 2008. *Viviendas Contratadas y Subsidios Otorgados.* Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Solis, M.T., Fortt, A., y Flores, C.**, 2008. Síntomatología respiratoria y EPOC asociada a contaminación intradomiciliaria en el área Metropolitana de Santiago. En: *XXVII Jornadas Chilenas de Salud Pública.* Santiago. Escuela de Salud Pública. Universidad de Chile.
- Sorrell S., Dimitropoulos J. y Sommerville, M.**, 2009. Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, *Energy Policy*, 37.1356-1371.
- Trebilcock M., Burdiles, R. y Fuente-Alba, C.** 2003. *Redisign of low cost housing under energy efficiency criteria.* En: Bustamante W., y Collados, E. editores. *Rethinking Development. Are we producing a people oriented habitat?* Proceedings of Passive and Low Energy Architecture. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 1363-1372.
- Universidad Harvard**, 2007. *Estimación del Impacto de fuentes de combustión en la calidad del aire presente dentro de hogares de la Región Metropolitana.* Disponible en: http://www.chilectra.cl/wps/wcm/connect/8eba68804dc4c2448d2bdaf6e19346/16_Estudio+Contaminaci%C3%B3n+Intradomiciliaria.pdf?MOD=AJPERES. (Extraído el 15 Septiembre 2009).
- Universidad de Concepción**, 2001. *Informe detallado Grupo de Estudios 1. Propuesta Segunda Etapa De Reglamentación Térmica.* Santiago: Instituto de la Construcción.