



XII ENCAC Encuentro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
VIII ELACAC Encuentro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído

BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO EN TEMUCO-PADRE LAS CASAS, CHILE: UNA CIUDAD DECLARADA SATURADA POR CONTAMINACIÓN AÉREA.

Gabriela Armijo (1), Christopher J. Whitman (2) Leticia Roubelat (3)

(1) MSc.Arch, Arquitecto, Directora del Laboratorio de Bioclimática, gabyarmijo@ambiente.cl

(2) B.Arch(Hons), Dip.Arch RIBAIII, Investigador, Laboratorio de Bioclimática, cwhitman@ucentral.cl

(3) Investigador, Laboratorio de Bioclimática, leticiaroubelat@hotmail.com

Universidad Central de Chile, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, Laboratorio de Bioclimática,
Santa Isabel 1186, Santiago Centro, Santiago de Chile, Tel.: +56 2 2 582 6902

RESUMEN

El Valle Central (zona centro-sur) de Chile, posee un clima mediterráneo caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos. Como resultado directo de la baja eficiencia térmica del parque de viviendas, unido a la quema de leña de baja calidad para calefacción y cocina en estufas contaminantes e ineficientes, casi todas las ciudades situadas en esta área han sido declaradas zonas saturadas por contaminación del aire con material particulado MP10. En el año 2007, el gobierno chileno introdujo un conjunto de normas que establecen requisitos de acondicionamiento térmico para edificaciones residenciales nuevas. Debido a sus bajos requerimientos, esta reglamentación ha sido criticada tanto en el ámbito nacional, como en el internacional. Algunos proyectos residenciales públicos y privados han tratado de mejorar la eficiencia energética de sus construcciones, sin embargo de los 5.7 millones de viviendas en Chile el 63% fueron construidas con anterioridad a la aplicación de la Reglamentación Térmica, razón por la cual el reacondicionamiento del parque ya construido es un elemento clave en la lucha por disminuir la contaminación. La ciudad de Temuco-Padre Las Casas fue declarada zona saturada por contaminación aérea MP10 en 2005 y por MP 2,5 en 2013. Como parte de su Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) el gobierno implementó un subsidio para el reacondicionamiento térmico de viviendas sociales, enmarcado dentro el programa habitacional existente PPPF del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). El objetivo de este trabajo es la presentación de Evaluaciones Post Ocupación de algunas viviendas reacondicionadas con este subsidio y la comparación con una vivienda sin reacondicionamiento y un departamento privado en un edificio de una empresa que ha identificado la eficiencia energética como un diferenciador en el mercado inmobiliario de la ciudad. Las mediciones muestran resultados positivos. Se resaltan las áreas donde aún se puede perfeccionar al programa.

Palabras clave: Reacondicionamiento térmico, eficiencia energética, confort higrotérmico, contaminación atmosférica.

ABSTRACT

Chile's central valley has a Mediterranean climate characterized by cold winters and hot summers. As a direct result of the thermally inadequate housing stock, coupled with the inefficient and contaminating burning of poor quality wood for heating and cooking, almost all of the cities located in this region have been declared saturated by airborne pollution PM10. In 2007 the Chilean government introduced thermal building regulations for new residential properties; however their low requirements have been criticized at both a national and international level. Some private and public residential projects have attempted to improve their energy efficiency, however 63% of the 5.7 million Chilean dwellings were built prior to the implementation of the Thermal Building Regulations and therefore the thermal reconditioning of the existing housing stock is an important element in the fight against airborne pollution. The Chilean city of Temuco-Padre Las Casas was declared a zone saturated by airborne pollution PM10 in 2005 and PM2.5 in 2013. As part of its Plan for Atmospheric Decontamination (PDA), the government implemented a subsidy for the reconditioning of social housing within the framework of the pre-existing program, the PPPF of the Ministry of Housing and Urbanism (MINVIU). The objective of this paper is to present the post occupancy evaluation of reconditioned dwellings that have benefited from this subsidy and compares them with an unconditioned house and an apartment in a building where the developer has identified energy efficiency as a selling point in the cities property market. The measurements show good results but at the same time highlight the areas

where further improvements could be made.

Key words: Thermal reconditioning, energy efficiency, hygrothermal comfort, airborne contamination.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Ciudades declaradas saturadas por contaminación aérea MP10

De acuerdo al último censo nacional realizado en 2012 (INE 2012) más del 50% de la población chilena se concentra en el valle central. El clima de esta región ha sido clasificado como clima mediterráneo (KOTTEK et al. 2006) (RUSSO et al. 2008). Este clima está caracterizado por inviernos fríos con una duración de 3 a 5 meses, veranos secos y calurosos con una fuerte radiación solar y una oscilación térmica aproximadamente de 20°C en verano y 10°C en invierno. La región se sitúa entre las latitudes 32° a 38° sur y limita al oeste con la cordillera de los Andes y al este con la cordillera de la costa. La topografía formada por estas montañas y sus estribaciones laterales crea una serie de recipientes conectados entre sí. Su poca ventilación unida a la inversión térmica, atrapan la contaminación atmosférica producida por las ciudades e industria de estas regiones. Como resultado, muchas de las ciudades situadas en el valle central han sido declaradas saturadas por MP10 contaminación aérea por el Ministerio de Medio Ambiente (Tabla.1).

Tabla 1: Zonas declaradas saturadas de MP10. Fuente: elaboración propia a partir de SINIA Sistema Nacional de Información Ambiental

Ciudad	Región	Año declarada zona saturada (MP10)	Principal fuente de contaminación aérea	Plan de descontaminación
Chuquicamata	II Región, Altiplano	1991	Industria minera (fundición)	Implementado 2001, zona declarada latente 2005
María Elena y Pedro de Valdivia	II Región, Altiplano	1993	Industria minera (fundición)	Implementado en 1997. Cumplido en 2010
Santiago	Región Metropolitana, Valle Central	1996	Industria, transporte, fundición, polvo y combustión leña	En vigencia desde 2003 - Proyecto Definitivo de Actualización aprobado 2010
Temuco-Padre las Casas	IX Región, Valle Central	2005	93% Combustión leña 7% Transporte y otros	Proyecto definitivo aprobado 2010
Concepción	VIII Región, Costa	2006	37% Industria 32% Combustión leña 3% Transporte 34% Otros	Anteproyecto existente Proyecto definitivo en elaboración
Tocopilla	II Región, Costa	2006	2 centrales termoeléctricas a carbón	Proyecto aprobado 2010
Rancagua y valle central de la IV Región	VI Región, Valle Central	2007	28% Combustión leña 32% Polvo 25% Industria minera (fundición) 15% Otros	Anteproyecto existente Proyecto definitivo en elaboración
Calama	II Región, Altiplano	2009	Industria minera (fundición)	Anteproyecto en elaboración
Talca	VII Región Valle Central	2010	Principalmente combustión leña	Anteproyecto en elaboración
Chillán	VIII Región, Valle Central	2012	Principalmente combustión leña	Anteproyecto en elaboración
Osorno	X Región De los Lagos	2012	Principalmente combustión leña	Anteproyecto en elaboración
Coyhaique	Región de Aysén	2012	Principalmente combustión leña	Anteproyecto en elaboración

En la mayoría de las zonas declaradas saturadas de contaminación aérea MP10, los principales responsables son las emisiones de la combustión de leña para cocinar y calefaccionar. Debido a que todas las viviendas de clase media y vivienda social no cuentan con un sistema de calefacción, los usuarios se ven obligados a encontrar sus propios métodos, optando, en la mayoría de los casos, por las soluciones más económicas a corto plazo y no las más eficientes. En el caso de ciudades como Temuco-Padre las Casas, en el Plan de Descontaminación Atmosférica (CONAMA 2009) se identificaron tres factores detonantes de esta

contaminación atmosférica. Estos factores son: la comercialización de leña con alto contenido de humedad, el uso de estufas ineficientes y contaminantes y por último, la alta demanda de leña para calefacción causada por la bajísima eficiencia térmica de las viviendas. Para combatir estos factores el plan identificó cuatro ámbitos de trabajo; el mejoramiento de la leña; el mejoramiento o recambio de los artefactos a leña; el mejoramiento de las viviendas; y la educación ambiental. El mejoramiento de las viviendas se compone de dos líneas de trabajo, el reacondicionamiento del parque existente y la búsqueda de nuevos modelos de viviendas más eficientes.

1.2. La vivienda en Chile

1.2.1. Condiciones Térmicas

De los 5.7 millones de viviendas en Chile (INE 2012), el 63% fueron construidas con anterioridad a la aplicación de la Reglamentación Térmica, que fue implementada en tres fases. La primera fase, vigente desde el 2000, consistió en aislar térmicamente la techumbre y definir 7 zonas térmicas. La segunda fase de implementación, vigente desde el 4 de enero de 2007, se introdujo la reglamentación para el aislamiento térmico de muros, ventanas y pisos ventilados. Las trasmittancias térmicas exigidas para las zonas térmicas son presentadas en tabla 2 (MINVU 2011). El Valle Central se encuentra en las zonas térmicas 3-5, Santiago de Chile en zona 3 y Temuco en zona 5. Todavía no ha implementado la tercera fase que consistirá en la certificación de viviendas nuevas que actualmente se encuentra en la etapa de proyecto piloto.

Tabla 2- Tabla de transmitancia (valor U) máxima de viviendas chilenas según decreto N°192 10 (MINVU 2011)

Zona térmica	Techumbre U W/m ² K	Muros U W/m ² K
1	0,84	4,0
2	0,60	3,0
3	0,47	1,9
4	0,38	1,7
5	0,33	1,6
6	0,28	1,1
7	0,25	0,6

Aunque Chile ha sido uno de los primeros países de Latinoamérica en implementar una Reglamentación Térmica, los valores de transmitancia requeridos han sido criticados nacional (BUSTAMANTE et al. 2009) e internacionalmente (CALDERA SÁNCHEZ 2012) por su permisividad. Los valores exigidos en los muros tendrán que ser revisados pronto.

Por otra parte, un estudio realizado en 42 edificios ubicados en 29 complejos residenciales de 4 ciudades chilenas (INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN 2008), mostró que la temperatura promedio del aire interior de las viviendas en invierno es menos de 15°C. Este estudio, también indicaba problemas de sobrecalentamiento en verano y problemas de humedades y condensación en un 80% de las viviendas.

1.2.2. Pobreza energética, “Fuel Poverty”

El concepto de pobreza energética o “fuel poverty” fue definido por Lewis (1982) en la Campaña del Derecho Nacional al Combustible en Bradford (Reino Unido) como “la incapacidad para calentar suficientemente el hogar debido a la falta de recursos económicos”. Esta definición fue revisada (HEALY 2004) añadiendo otro factor relacionado específicamente con el diseño de la vivienda, definiendo así el término pobreza energética como “la incapacidad de permitir calentar adecuadamente el hogar (consiguiendo una temperatura segura y confortable) a causa de los bajos ingresos y de baja eficiencia energética de las viviendas”. Este término se refiere a los hogares que deben gastar más del 10% de sus ingresos anuales en combustible para poder alcanzar una temperatura interior de confort adecuada. Este cálculo se basa en el valor teórico de lo que se necesita gastar en un hogar y no es su gasto real. En muchos casos este valor supera los medios económicos existentes en el hogar y por tanto no se alcanza a calentar satisfactoriamente la vivienda. Por lo tanto, una vivienda que sufre de pobreza energética o bien gasta mucho en combustible para calefacción y/o posee un bajo confort higrotérmico. Un estudio realizado en 2006 (MÁRQUEZ et al. 2006), muestra que toda la población chilena, con excepción de las dos quintiles más ricas, sufre de pobreza energética.

1.2.3. Planeamiento urbanístico

Desde la década de 1930, el modelo de planificación urbana en Chile ha estado dominado por el modelo norteamericano de ciudad modernista basado en la zonificación mono funcional, que desalienta o prohíbe

activamente los desarrollos urbanos de uso mixto. Se generan así, grandes áreas mono funcionales de uso residencial que no poseen los servicios y equipamientos básicos como guarderías, colegios, almacenes o lugares de trabajo, y los residentes se ven obligados a utilizar transporte motorizado para las necesidades básicas. A pesar de iniciativas del gobierno de mejorar el transporte público en la capital, fuera del área urbana de Santiago el transporte público sigue basándose en pequeños autobuses diésel muy contaminantes. Por otra parte, para cumplir con los objetivos de construcción de vivienda social ha llevado a seleccionar los predios no según su adecuada localización, sino por su bajo valor económico. Estos predios de bajo costo normalmente se encuentran en los límites de la zona urbana, donde existen muchas menos oportunidades de encontrar trabajo e infraestructura básica. La localización inadecuada de estos predios, contribuye a aumentar los tiempos de desplazamiento y el costo de este para aquellos con bajos ingresos económicos. Incluso para los ciudadanos con altos ingresos, la aspiración de vivir en una casa con patio, ha llevado a la dispersión urbana y a la dependencia del automóvil.

En relación al estudio del contexto de la vivienda en Chile, se puede concluir lo siguiente: todos los edificios residenciales chilenos, tanto los pertenecientes a estratos socio-económicos bajos como altos, no son capaces de proporcionar un adecuado confort higrotérmico en su interior; la Regulación Térmica chilena es insuficiente; todos los estratos socio-económicos excepto los más altos sufren de pobreza energética; los sistemas de calefacción son ineficientes y contaminantes y las políticas urbanas basadas en la zonificación mono funcional aumentan la dependencia en el transporte. Como resultado de los factores anteriormente mencionados, la contaminación del aire se eleva hasta el punto de saturación afectando la salud de los habitantes de estas ciudades.

1.3 El uso residencial de leña

En Chile, el 20% de la energía primaria consumida es leña (MINISTERIO DE ENERÍA 2011) y junto con carbón y gas natural es una de las fuentes de energía más importante después del petróleo. De este porcentaje un 58% procede del consumo de leña residencial (CNE 2011). De la energía total consumida en el país, el sector residencial es responsable del 18,5% (CNE 2011) y por uso final se puede realizar la siguiente subdivisión, 15% agua caliente sanitaria, 37% electricidad y 52% calefacción (COLLADOS; ARMIJO 2009).

Desde la latitud 38 hacia el sur, más del 80% de las residencias urbanas y el 100% de las residencias rurales, consumen leña (SNCL 2010). Esto se debe a que es entre 4 y 7 veces más barata que otras fuentes de energía. El uso principal de leña en residencias es para calefacción seguido por la cocción de alimentos (GÓMEZ-LOBO et al. 2005). Debido a las condiciones climáticas y la disponibilidad de leña derivada de la explotación forestal, las ciudades del sur del país tienen los mayores niveles de consumo de madera.

1.4 El caso de la ciudad Temuco-Padre Las Casas

1.4.1. El Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA)

A través del Decreto Supremo N°35/2005, del Ministerio General de la Presidencia, se declara a las comunas de Temuco y Padre Las Casas como una zona saturada por material particulado respirable (MP10) promedio diario (CONAMA 2005). La declaración se fundamentó en los registros obtenidos mediante el monitoreo oficial de MP10 desde el año 2000 al 2005, Conforme a la ley vigente, la declaración dio inicio a la elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA), que fue finalmente aprobado en 2007. Ese plan tiene como meta global la reducción de las emisiones al 31% respecto del año 2004, en un plazo de 10 años, asimismo, se estimó que el beneficio social neto del PDA alcanza a US\$59,9 millones para ese periodo.

Las medidas del plan se enmarcan en las siguientes líneas estratégicas:

1. Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de la leña.
2. Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos residenciales que combustionan leña.
3. Regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda.

1.4.2. Subsidio al reacondicionamiento térmico de la vivienda existente y el Programa de Protección del Patrimonio Familiar PPPF

Para lograr la tercera línea estratégica del PDA, una de las medidas adoptadas fue la creación de una

subvención específicamente para el reacondicionamiento térmico de la vivienda. Ese subsidio consiste en la transferencia de 10.000 subsidios del Centro nacional de Energía (CNE) al ministerio de Vivienda y Urbanismo, a través de uno de sus programas habitacionales preexistente, el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF).

Los objetivos del PPPF consisten en la recuperación del patrimonio familiar, detener el deterioro de las viviendas y sus entornos, promover la acción colectiva de los habitantes, buscando la organización de estos últimos, en torno a objetivos comunes y cambiar la percepción que tienen los vecinos de sus barrios.

El PPPF tiene tres títulos: mejoramiento del entorno de la vivienda; mejoramiento de la vivienda y ampliación de vivienda. El subsidio de reacondicionamiento térmico se inserta en el título II del programa.. Los beneficiarios pueden postular individualmente o en forma colectiva con hasta 150 integrantes. El subsidio asciende a un monto de 120 UF (aprox. US\$5.803) por vivienda. (MINVU 2006).

Si bien la existencia de este subsidio constituye un logro considerable, el programa habitacional posee ciertas barreras que no permiten su óptimo desarrollo. Estas barreras son por ejemplo: 1. la insuficiencia de los subsidios, que en muchos casos no permiten la renovación completa de la envolvente disminuyendo en gran medida sus efectos positivos; 2. los problemas derivados de la reducción de infiltraciones, mala calidad del aire y humedad, debidos a la no contemplación de sistemas de ventilación mecánicos.. 3. Otro problema detectado, está relacionado con la propiedad de la vivienda. Solo se conceden subsidios a viviendas en propiedad y con propietario único. Entre los años 2008 y 2011 se han asignado un total de 6.097 subsidios térmicos con una inversión total de 643.335 UF (aprox. US\$31 millón). En el año 2012 se contaba con 3.340 Subsidios equivalentes a 370.831 U.F (aprox. US\$18 millón), en proceso de asignación (MMA 2012).

2. OBJETIVO

En el marco del proyecto de investigación “Viviendas Ambientalmente Eficientes: Guía de diseño, construcción y gestión medioambiental, económica y social, de edificios sustentables de vivienda multiprograma para la zona centro-sur de Chile,” se ha querido analizar el impacto del programa de reacondicionamiento térmico a través de Evaluaciones Post Ocupación (EPOs) de viviendas reacondicionadas en la ciudad de Temuco, especialmente el impacto cualitativo en las personas.

3. METODOLOGÍA

3.1 Selección de casos de estudio

Los casos de estudio se escogieron en función de dos criterios, el primero su representatividad dentro de las tipologías habitacionales existentes en la ciudad de Temuco; caso de la zona centro-sur de Chile; tanto de vivienda social como privada, y en segundo lugar, en función de los diferentes modos de aplicación del programa de reacondicionamiento térmico en la medida de lo posible, ya que no siempre se puede acceder tan fácilmente a las viviendas habitadas para realizar mediciones y entrevistas. Los casos sometidos a Evaluación Post Ocupación son los siguientes:

3.1.1 Condominio Barros Arana.

Construido en 1959, los dos bloques de vivienda social que conforman el Condominio Barros Arana, han sido recientemente renovados bajo el programa habitacional PPPF. El reacondicionamiento térmico de la envolvente exterior consistió en primer lugar, en la colocación de 50mm de poliestireno expandido por la cara exterior de la envolvente de forma continua. Este sistema de reacondicionamiento térmico denominado EIFS (External Insulation Facade System), permitió llegar a un valor de transmitancia térmica en la envolvente opaca exterior de $U=0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$. El segundo lugar, se realizó un mejoramiento de ventanas, manteniendo el vidrio simple y cambiando los marcos de fierro por marcos de aluminio. El cambio a doble vidrio hermético no se pudo realizar debido a la falta de fondos del subsidio. Para realizar la EPO, se seleccionó únicamente un departamento situado primer piso.



Figuras 1, 2 & 3- Condominio Barros Arana fachada antes del re-acondicionamiento térmico; fachada antes del re-acondicionamiento térmico; fachada después del re-acondicionamiento térmico.

3.1.2. Edificio La Haya

Este edificio pertenece a una serie de proyectos habitacionales de la constructora Schiele y Werth Ltda, como los edificios Rotterdam y Brandenburg, cuyas envolventes superan las reglamentaciones térmicas vigentes mediante el uso del sistema EIFS y ventanas de doble vidrio hermético con marco de PVC. Asimismo, cuenta con un sistema de calefacción por bomba de calor aire-aire y ventilación natural pasiva mediante unos pequeños tubos de PVC aislados térmicamente por el exterior, colocados en el cerramiento exterior al lado de la ventana.

3.1.3. Población Temuco

En la Población Temuco, construida en 1960, se seleccionaron tres viviendas unifamiliares, adosadas a ambos lados, para ser sometidas a EPO. Todas ellas, excepto una, están dentro del programa PPPF. Esto permite la comparación de viviendas con diferentes grados de reacondicionamiento térmico. La primera vivienda sometida a reacondicionamiento térmico posee aislación de 50 mm de poliestireno expandido aplicada al interior del primer piso y al exterior del segundo piso detrás del revestimiento 'siding' de PVC, además de lana de vidrio en su techumbre. Sus puertas y ventanas, formadas por vidrio simple y marco de madera, no fueron sustituidas. En la segunda vivienda solamente se aplicó la aislación térmica a la fachada este y se reemplazaron todas las ventanas por doble vidrio hermético (DVH) con marco de PVC. La tercera vivienda, fue seleccionada por no poseer ningún tipo de aislamiento térmico ni cambio de ventanas, de esta manera su EPO sirve para realizar una comparación con aquellas que si han sido reacondicionadas.

3.2 Mediciones

La visita a terreno para la evaluación post ocupación de invierno se realizó entre el 14 y 19 de agosto 2012, con monitoreo continuo de temperatura de bulbo seco y humedad relativa desde esas fechas hasta fines de septiembre 2012. La visita a terreno de verano se realizó entre el 16 y 18 de enero 2013, con monitoreo continuo de temperatura de bulbo seco y humedad relativa hasta principios de abril 2013. A continuación se describe en forma breve los pasos realizados en la Evaluación Post Ocupación de los ejemplos analizados; constatación visual del experto; entrevista al administrador; entrevista al usuario; medición de variables higrotérmicas (temperatura bulbo seco del aire interior y exterior, humedad relativa del aire interior y exterior, temperatura radiante y termografía); medición de variables no térmicas (nivel de ruido, nivel de iluminancia y contenido de CO₂ del aire). En este artículo se presentan las variables directamente relacionadas con el reacondicionamiento térmico, es decir, las variables higrotérmicas y el contenido de CO₂ del aire.

3.2.1. Evaluación de confort higrotérmico. Temperatura bulbo seco del aire (°C) y Humedad relativo (%)

En el living de cada vivienda se colocó un higrotermómetro inalámbrico (ibutton Hydrocron), colgado a una altura de 1,7m desde el suelo. A estos se suma otro higrotermómetro inalámbrico, con protección de radiación solar directa, lluvia y viento, colocado en el patio trasero de la vivienda n°2 de la Población Temuco. Los higrotermómetros fueron programados para realizar mediciones de temperatura de bulbo seco (°C) y humedad relativa (HR%) cada media hora. Se pidió a los usuarios realizar una bitácora simple donde se anotasen los usos del recinto, actividades realizadas, número de gente y artefactos (estufas, hornos, cocinas, electrodomésticos etc.) en uso. Se dejaron los higrotermómetros funcionando por un periodo de dos semanas. Los resultados son presentados en figuras 4-x en la forma de cartas psicométricas según Givoni.

3.2.2. Evaluación de la calidad del aire. Dióxido de carbono CO₂ (PPM)

Usando un medidor de CO₂ (Testo CO₂ 536) se evaluaron las concentraciones de dióxido de carbono (PPM) al exterior y al interior de cada caso de estudio. Las mediciones internas se realizaron al momento de entrar el recinto y al final de la visita. Los resultados son presentados en tabla 4.

4. RESULTADOS

4.1 Mediciones de temperatura bulbo seco (°C) y humedad relativa (%HR) invierno

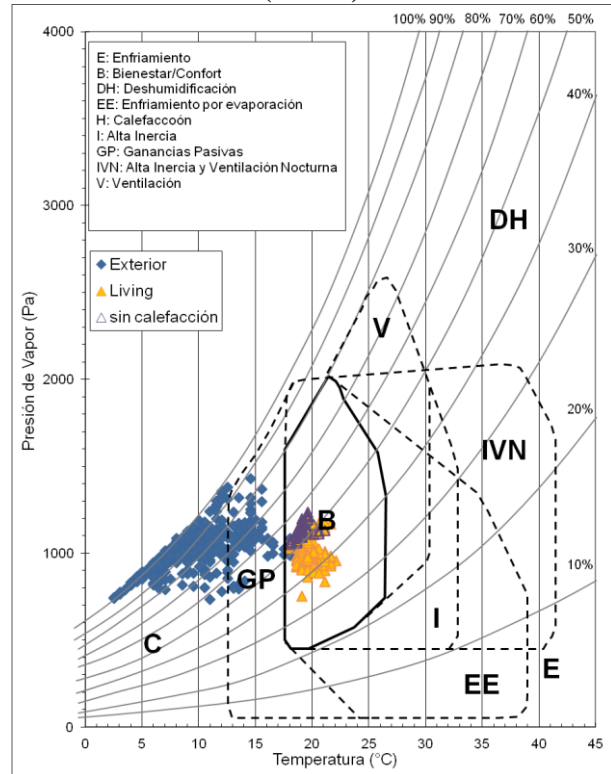
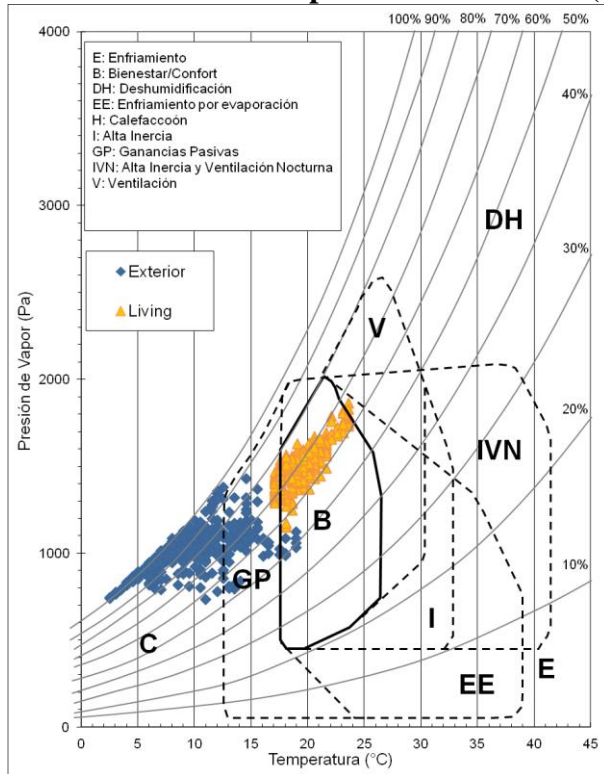


Figura 4.- Carta psicrométrica Departamento Edificio Barros Arana

Figura 5.- Carta psicrométrica Departamento Edificio la Haya

Los resultados de las mediciones en los dos departamentos muestran que en ambos casos las temperaturas y niveles de humedad relativa caen dentro la zona de confort higrotérmico. En el caso del departamento con reacondicionamiento térmico PPPF, Edificio Barros Arana, el día 14 de agosto se midieron 17°C al interior sin calefacción con una temperatura externa de 13,6°C. El departamento en el Edificio La Haya también mantiene temperaturas dentro el rango de confort sin calefacción (fig.5). Sin embargo en el Edificio Barros Arana la humedad y la concentración de CO₂ son bastante altos; casi siempre la HR por encima del 60% y el CO₂ por encima de los 1000 PPM (Tabla 5); lo que pone en riesgo las condensaciones superficiales al interior del departamento y da cuenta de una calidad de aire deficiente. En la unión entre el muro exterior y el piso se notaron manchas en el acabado interior del cerramiento, que indica el crecimiento de hongos negros. Con la cámara termográfica se identificó que el aislante térmico de la solución EIFS no llega hasta el suelo y que el radier (losa del primer piso) no está aislado, formándose así un puente térmico. Esto da origen al problema de condensaciones superficiales en la parte baja del acabado interior del cerramiento exterior. Al haber reducido las infiltraciones de aire y aumentado la hermeticidad del recinto mediante el aislamiento térmico y el cambio de ventanas, el problema de condensaciones superficiales interiores se agrava debido a la falta de ventilación natural tanto pasiva como activa y a los hábitos de secado de ropa al interior.

Los resultados de las mediciones en las tres viviendas de la Población Temuco muestran que el reacondicionamiento térmico PPPF provee mejores niveles de confort. Sin embargo, se puede notar observando las figuras 6-8 que la solución EIFS es mucho más eficaz unida al cambio de ventanas a DVH y marco de PVC que por sí sola. Con la cámara térmica se evidencian claramente las fugas de calor a través de estos elementos (figs 9 & 10). En verano las viviendas se comportan bien a excepción del Edificio La Haya, que evidencia un sobrecalentamiento por falta de protección solar en las ventanas y el segundo piso de la vivienda de la Población Temuco que no tiene aislante térmico en el techo: ver Tabla 4.

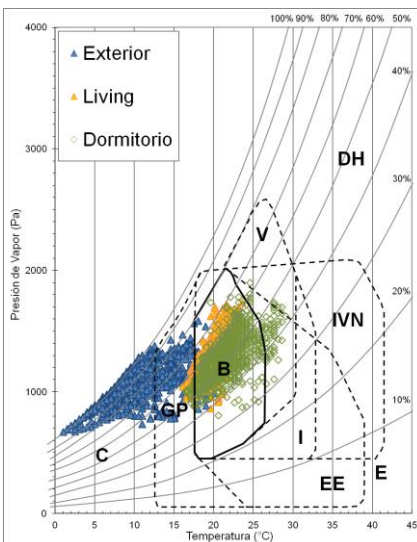
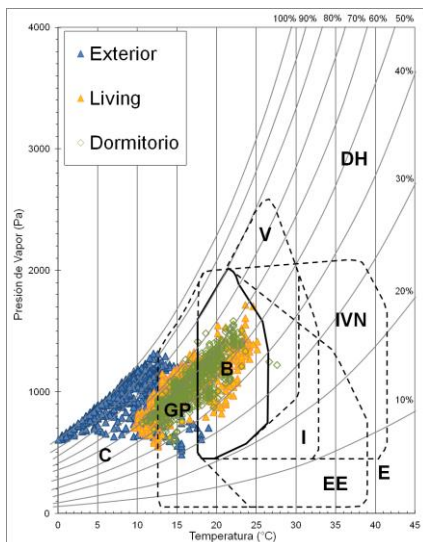


Figura 6. Población Temuco casa sin aislación. Figura 7. Casa aislada sin DVH.

Figura 8. Casa fachada E aislada + DVH

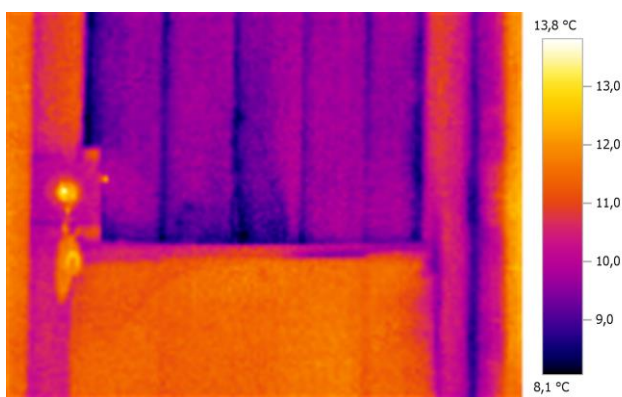


Figura 9.- Foto termográfica interior de puerta principal

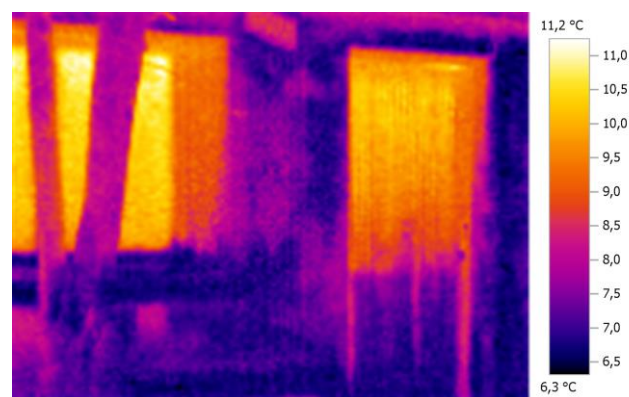


Figura 10.- Exterior de puerta principal y ventana de mono vidrio

4.2 Mediciones de temperatura bulbo seco (°C) y humedad relativa (%HR) verano

Tabla 4- Mediciones de temperatura bulbo seco (°C) y humedad relativa (%HR) medida enero

	Departamentos				Casas Población Temuco			
	Barros Arana		La Haya		Sin aislación		Aislada fachada E +DVH	
	T°C	%HR	T°C	%HR	T°C	%HR	T°C	%HR
Exterior	16,6	73	27,5	60	25	62	25	62
Interior 1 piso	20,2	78	27,9	66	25	69	26,7	63
Interior 2 piso	-	-	-	-	-	-	27,4	-

4.4 Mediciones de calidad de aire. Concentraciones de Dióxido de Carbono CO₂ (PPM)

Tabla 5- Mediciones de Concentraciones de Dióxido de Carbono CO₂ (PPM) agosto 2012 y enero 2013

Edificio y Recinto	Concentración CO ₂ Invierno		Concentración CO ₂ Verano	
	Exterior	Interior	Exterior	Interior
	Edificio Barros Arana. Departamento. Living	466	1098-1700	440
Edificio La Haya. Departamento. Living	470	670	440	530
Población Temuco. Casa sin Aislación. Living	478	642-802	484	640
Población Temuco. Casa Aislación sin DVH	480	660-796	-	-
Población Temuco. Casa Aislación fachada E. + DVH. Living	470	1065	484	655

4.5 Entrevistas con los habitantes

Las entrevistas con los habitantes muestran que el reacondicionamiento térmico PPPF ha mejorado sus niveles de confort (están con menos ropa y tienen una percepción de confort en invierno y verano: Tabla 6) y han reducido su demanda de calefacción. En el caso del departamento en el Edificio Barros Arana el

consumo de leña para calefacción disminuyó en un 50%. En la Población Temuco, la vivienda con aislamiento térmico sin cambio de ventanas, redujo su gastos en parafina desde \$70.000 al mes (aprox. US\$150) a \$50.000 (aprox. US\$106). La vivienda con aislamiento térmico en fachada este y DVH con marco de PVC redujo su consumo de leña a un tercio respecto del consumo del año anterior,

Tabla 6- Resultados de encuestas con usuarios

	Sensación térmica ¹		Ropa ²		Cuándo abre las ventanas ³		Corrientes de aire molestas		suficiente iluminación natural		Problemas de Deslumb-ramiento		molestado por el ruido	Uso de Calefacción
	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver		
Barros Arana			0,9	0,9										Abril-agosto
Sin aislación	3	7	1,2	0,6	Me	T	sí	no	no	sí	no	no	sí	7 horas por día
Aislación sin DVH			0,9	0,6										Abril-septiembre
Aislación fachada Este +DVH	4	5	0,9	0,6	Ma	Ta	no	no	sí	sí	no	no	no	Abril-dic. 8-10hrs

1. Rango 1= frío; 4= confort; 7= calor

2. Clo 0,6=ropa de verano; 0,9= +chaleco; 1,2= +chaquetón

3. Ma=mañana; Me=Mediodía; Ta=Tarde; T= todo el día

Además de estos logros, las entrevistas nos hacen observar que el entusiasmo de sus habitantes, el grado de información respecto al programa y lo que significa, así como el grado de organización, es impresionante. A través del programa se ha conseguido iniciar una concientización sobre la eficiencia energética y el cuidado del medioambiente, lo cual consideramos bastante complejo ya que el reacondicionamiento térmico es una mejora invisible, por lo que es difícil hacer entender sus beneficios con respecto a la calidad de la vivienda y sus habitantes y su contribución al mejoramiento de la calidad del aire de toda la ciudad.

5. CONCLUSIONES

El subsidio al reacondicionamiento térmico de las viviendas existentes, bajo el programa PPPF, realizado por el Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) de la Región Araucanía en la ciudad de Temuco-Padre Las Casas, ha tenido exitosos resultados tanto en la mejora del confort higrotérmico al interior de las viviendas como en la reducción de la demanda de calefacción, teniendo un impacto positivo en la mejora de la calidad de vida de los usuarios de estas viviendas y una reducción de emisiones contaminantes. Los resultados de las mediciones muestran claramente que la eficiencia de la solución constructiva EIFS es mucho mayor si se realiza en la envolvente exterior al completo como en el caso del Edificio Barros Arana. Esta eficiencia aumenta si se combina el aislamiento térmico de la envolvente con una sustitución de las ventanas existentes por otras de DVH con marco de PVC, como se puede observar en el Edificio La Haya.

La evaluación de las viviendas de la Población Temuco acogidas al PPPF muestra que la insuficiencia de los subsidios tiene como consecuencia la aplicación parcial de este sistema de reacondicionamiento, con una vivienda dónde se aisló únicamente las fachadas, sin cambiar las ventanas, y otra en que se aisló únicamente la fachada este y se realizó el cambio de ventanas. Este hecho, sugiere un proceso de reacondicionamiento más sistematizado en lugar del sistema actual de postulaciones individuales. Los problemas legales de aquellas viviendas que no poseen un único dueño también requieren una solución.

Por otra parte, no se unen al reacondicionamiento térmico estrategias de ventilación natural pasiva o activa, lo que generaría problemas tanto de contaminación intradomiciliaria, como de condensaciones superficiales.

Sin embargo el reacondicionamiento de viviendas existentes les da nueva vida, permitiéndose sus habitantes seguir residiendo en el mismo lugar, en mejores condiciones. Se evita, su traslado a nuevas viviendas en las afueras de la ciudad como ocurre en muchos otros casos. Así, los problemas asociados al crecimiento de la ciudad dispersa son evitados al mismo tiempo que se reutilizan los materiales y energía imbuida de lo existente.

El estudio realizado sobre el programa PPPF ha mostrado que este tiene logros importantes tanto mejorando el confort higrotérmico y reduciendo la demanda de calefacción como aumentando la conciencia sobre la eficiencia energética y el cuidado del medioambiente en los habitantes. Es importante señalar que,

inteligentemente, en todos los casos el mejoramiento térmico se hizo junto a un mejoramiento de la imagen e incluso con una intervención en las condiciones ambientales del barrio, con la participación activa de los habitantes, logrando un aspecto físico nuevo en las viviendas, los edificios y el entorno. Esto tiene un doble efecto, por un lado atrae la atención de otros vecinos, que empiezan a pensar en organizarse para hacer lo mismo en sus propias viviendas y barrios. Por otro lado, genera en los residentes de este condominio un sentimiento de pertenencia con sus espacios de relación, fomentando una cultura de mantenimiento de los mismos. Junto con los otros programas de cambio de artefactos de calefacción y certificación de leña, el reacondicionamiento térmico PPPF es un paso importante hacia un futuro menos contaminado para la ciudad de Temuco-Padre Las Casas y una mejora en la calidad de vida de sus habitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSTAMANTE W, CEPEDA R, MARTÍNEZ P y SANTA MARÍA H. **Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible.** In **Propuestas para Chile:** Concurso Políticas Públicas 2009. P.Universidad Católica de Chile 2009: 253-282
- CALDERA SÁNCHEZ A. **Building Blocks for a Better Functioning Housing Market in Chile,** OECD Economics Department Working Papers [en línea] OECD Publishing 2012 [Citado 22 Mar 2012]; 943. Disponible en: <http://www.oecd-ilibrary.org/>
- CHILE AMBIENTE CORPORACIÓN. **Análisis del potencial estratégico de la leña en la matriz energética chilena, informe final.** CNE. Santiago de Chile, 2008.
- CNE (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA) **Balance Nacional de Energía 2011.** Comisión Nacional de Energía, Santiago de Chile, 2011
- COLLADOS, E., ARMIJO, G. (2009). Impact of an Energy Refurbishment Programme in Chile: More than Energy Savings. En D, MUMOVIC, M., SANTAMOURIS (eds.). *A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering* (pp. 401-422). London: Earthscan.
- CONTRERAS, CG. **Estimation of Emissions from Residential Wood Combustion (RWC) in Chile.** Conama -Swedish International Development Cooperation Agency (Sida).2008
- CONAMA (COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, TEMUCO). **Plan de Descontaminación Atmosférica Temuco – Padre Las Casas.** [En línea] Temuco 2009. [Fecha de consulta 3 abril 2013] Disponible en: http://www.sernac.cl/transparencia/pdf/Res%20Ex%201190_2007.pdf
- GÓMEZ-LOBO A., LIMA J.L.,HILL C. Y MENESES M. **Diagnóstico del mercado de la leña en Chile,** Departamento de Economía, Universidad de Chile, Santiago de Chile 2005.
- HEALY J.D. **Housing, fuel poverty, and health: A Pan-European Analysis,** Ashgate Publishing, Ltd., England 2004
- INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA). (2012). **Resultados Preliminares Censo de Población y Vivienda 2012** [en línea] Santiago de Chile, 2012. [Fecha de consulta 15 diciembre 2012] Disponible en: http://www.censo.cl/2012/08/resultados_preliminares_censo_2012.pdf
- INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN **Determinación de línea base “anual” para la evaluación de la inversión en eficiencia energética en el sector residencial invierno 2007 – verano 2008.** Proyecto Fomento de la Eficiencia Energética (CNE/GTZ) Santiago de Chile 2008.
- KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B, Y RUBEL F, **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated.** Meteorologische Zeitschrift, [en línea] Vol. 15, No. 3, 259-263. [Fecha de consulta 20 marzo 2012] Disponible en: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>
- MÁRQUEZ, M. MIRANDA, R. **Una estimación de los impactos en los presupuestos familiares derivados del sostenido aumento en los precios de la energía,** Universidad Austral, Chile 2007
- MINISTERIO DE ENERGÍA. **Balance Nacional de Energía 2011,** Ministerio de energía de Chile, Santiago de Chile, 2012
- MINVU (MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO) **Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC)** [en línea] 2011 [Fecha de consulta 22 mayo 2012] Disponible en: http://www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx
- MINVU (MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO) **Reglamenta programa de protección del patrimonio familiar** Santiago 2006
- MMA (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE) **Seremi del Medio Ambiente efectuó Cuenta Pública 2012 del Plan de Descontaminación Atmosférica Temuco y Padre las Casas** [en línea] 8 agosto 2012 [Fecha de consulta 5 abril 2013] Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-52668.html>
- MODCELL. **Modcell** [en línea] 2012 [Fecha de consulta 16 mayo 2012] Disponible en: <http://www.modcell.com/>
- RUSSO H, RODRÍGUEZ G, BEHM H, PAVEZ H, MACDONALD J, AND TESTA M. **Climatic Dwellings for Chile and Recommendations for Architectural Design, Chilean Standard NCh 1079 of 77 (2008)** Institución Nacional de Normalización, Chile 2008
- SINIA (SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL), **Zonas Declaradas Saturadas** [En línea] 2011 [Citado 10 julio 2011] Disponible en: <http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-15480.html>
- SNCL (SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICACIÓN DE LEÑA) 2010. **Componente del Sistema Nacional de Certificación de Leña.** [En línea] Santiago 2010 [Fecha de consulta 27 de Septiembre de 2012] Disponible en: <http://www.lena.cl>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Director del PPPF del SERVIU- Región de la Araucanía Sr. Gastón Calbío, a los dirigentes vecinales del Condominio Barros Arana y la Población Temuco, y al gerente de la Constructora Schiele y Werth Ltda., cuyas colaboraciones han sido muy valiosas para esta investigación financiada por fondos de la Vicerrectoría Académica de la Universidad Central.