

# Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile<sup>1</sup>

## Energy analysis of housing in the central-south of Chile

Flavio Celis Damico  
flavio.celis@uah.es  
Universidad de Alcalá de Henares

Rodrigo Garcia Alvarado  
rgarcia@ubiobio.cl  
Universidad del Bío Bío

Maureen Trebilcock Kelly  
mtrebilc@ubiobio.cl  
Universidad del Bío Bío

Olavo Escorcía Oyola  
oesorciao@unal.edu.co  
Universidad Nacional de Colombia

Underléa Miotto Bruscato  
underlea.bruscato@ufrgs.br  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Muriel Díaz  
mudiaz@egresados.ubiobio.cl  
Universidad del Bío Bío

---

**RESUMEN** – El desarrollo residencial en la zona centro-sur de Chile (regiones VII, VIII y IX) ha logrado cubrir las demandas habitacionales, fundamentalmente con viviendas aisladas en baja densidad, de tipologías y sistemas constructivos similares. Los retos de la reconstrucción tras el terremoto que asoló la zona el 27 de Febrero de 2010 se están abordando con edificaciones semejantes, aplicando una normativa térmica, inédita en Latinoamérica, pero poco exigente en relación a estándares internacionales, que logran una mayor reducción de la demanda energética. Además, las condiciones climáticas de la zona permitirían una considerable mejora de las prestaciones térmicas de los edificios si se consideraran algunas características tipológicas referidas a la agrupación, el soleamiento, la distribución de la masa térmica y las mejoras de la envolvente. Este artículo revisa características ambientales y morfológicas de las edificaciones residenciales en la zona, planteando recomendaciones de diseño y construcción que podrían aplicarse para promover viviendas más eficientes energéticamente.

**Palabras clave:** vivienda, eficiencia energética, hábitat sustentable, Chile.

**ABSTRACT** – Housing development in the central-south area of Chile (Regions VII, VIII and IX) gives response to the needs for housing with low density detached dwellings of similar typologies and constructive systems. The challenges of the reconstruction process after the earthquake of the 27<sup>th</sup> of February 2010 are being faced with similar buildings, applying a thermal regulation that is innovative in Latin America, but not rigorous enough when compared with international standards that achieve more important reductions in energy demand. In addition, the climatic conditions of the area would allow a considerable improvement of the thermal performance of buildings if some typological strategies related to group layout, solar incidence, thermal mass and thermal envelope are considered. This article reviews some environmental and morphological characteristics of residential buildings in the area, proposing recommendations for design and construction phase that could be applied in order to promote more energy efficient housing.

**Key words:** dwellings, energy efficiency, sustainable architecture, Chile.

---

<sup>1</sup> El presente artículo se deriva del Proyecto “Diseño Integrado para la Reconstrucción de Viviendas Energéticamente Eficientes en Chile” CONICYT MEL 81100003 y de la investigación FONDECYT 1120165.

Viajando por las regiones del centro-sur de Chile; Maule, Bio-Bío y Araucanía, las más dañadas por el sismo del 27 de Febrero de 2010, se constata un año después que las huellas del terremoto han hecho mella en muchas estructuras arquitectónicas, pero no en la producción residencial que se ha venido desarrollando a lo largo de la última década. Extensiones interminables de viviendas pareadas y aisladas, con una estructura constructiva y tipológica muy similar, se suceden en las principales ciudades. En los centros se ejecutan algunos edificios en altura que conforman los núcleos urbanos más consolidados, pero es evidente que la estrategia habitacional se dirige hacia la dispersión. La intensa dinámica privada que sustenta la construcción residencial en Chile, que incluye a los sectores populares con subsidios financieros, ha permitido satisfacer las demandas habitacionales del país, pero aprovechándose de la desregulación del suelo y los servicios urbanos. El tamaño, los acabados y las densidades denotan leves diferencias entre las viviendas subsidiadas y las de clase media-alta, de igual modo que los campamentos de aquellos que se quedaron sin hogar por el terremoto repiten, de modo precario, esa misma estructura dispersa, en espera de que les asignen su

nueva vivienda. Al igual que en el tablero del Monopoly, el desarrollo inmobiliario colmata de viviendas unifamiliares a dos aguas la llanura chilena<sup>2</sup>.

Este incontenible desarrollo urbano en baja densidad, fruto en parte del crecimiento económico sostenido, de la presión inmobiliaria y de la evidente necesidad de cubrir la demanda habitacional de la población más desfavorecida, tiene, sin embargo, sus debilidades desde el punto de vista ambiental. Si bien la mayor presión sobre las reducciones de CO<sub>2</sub> se ha producido sobre las economías más desarrolladas, el ascenso global de los costes de la energía hace indispensable una revisión de los sistemas productivos también sobre las economías emergentes, cuyo desarrollo puede verse lastrado de no corregir algunos parámetros relacionados con la falta de eficiencia energética de muchos sectores en desarrollo, tanto por sus costos directos, como por la presión ejercida sobre el medio ambiente. Además, parece evidente que una mejora en las condiciones de vida de la población repercutirá también en un incremento de los estándares térmicos, que significará también una mayor demanda de energía (Bustamante *et al.*, 2004).



**Figura 1.** Viviendas unifamiliares tipo en la región de estudio.  
**Figure 1.** Single family dwellings in the study region.

<sup>2</sup> La presión del mercado inmobiliario y la desregularización de la ordenación del territorio generan el desarrollo en baja densidad. La gestión, proyecto y construcción de viviendas sociales y de reconstrucción, en manos de las inmobiliarias, siguen esta misma estrategia.

### Debilidades normativas

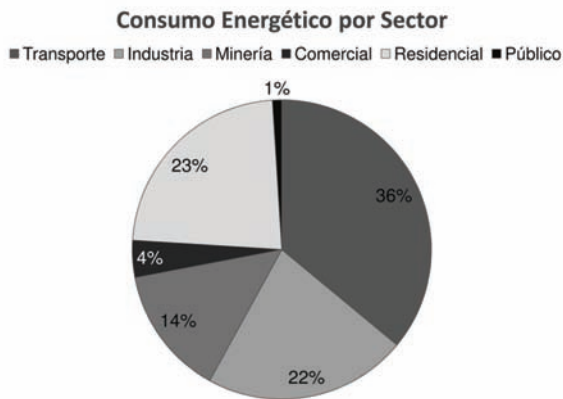
En Chile, la edificación residencial representa una cuarta parte del consumo total de energía, con lo que una reducción significativa en la demanda energética de dicho sector tendría un importante impacto económico y ecológico en el conjunto del país. Si a ello se le suma el hecho de que el país carece de recursos en materia de hidrocarburos y gas natural, se hace evidente la necesidad de repensar el conjunto de la edificación del país en relación a dicha demanda. En este contexto, algunos fenómenos externos, como el terremoto del 27 de Febrero del 2010, han servido de revulsivo para plantear nuevamente o intensificar, dentro de las necesidades de reconstrucción, algunos cambios significativos en el planteamiento tradicional de la construcción de viviendas. Impulsados por estudios e investigaciones desarrollados antes y después del terremoto, en los ámbitos académicos y por los servicios públicos de vivienda<sup>3</sup>, dichas actuaciones se han referido al mejoramiento de las normativas térmicas, al desarrollo en el ámbito del proyecto de manuales y recomendaciones de buenas prácticas dentro de procesos de diseño integrado, a la producción de algunos prototipos de nueva planta, a la mejora singular directa de alguna edificación o a la creación de líneas de subsidio para la mejora térmica de viviendas.

En este contexto, cabe indicar las contradicciones que se generan entre una normativa de carácter universal, que simplifica enormemente las condiciones de variabilidad y de respuesta a los factores climáticos y ambientales, y la lógica sostenible, que plantea exactamente lo contrario, es decir, que los problemas globales sólo son abordables desde respuestas locales fuertemente enraizadas

en las condiciones particulares en donde se desenvuelven. En los países donde existe un fuerte centralismo administrativo, como en el caso de Chile, esta dicotomía se muestra de modo evidente, especialmente en el ámbito normativo. En los últimos años se han implementado algunos avances significativos en este sentido, como la revisión de la normativa térmica incluida en la OGUC, que entró en vigor en el año 2000, y que en una primera etapa se aplicaba exclusivamente al complejo de techumbre de las viviendas. En el año 2007 se incluyeron limitaciones a la transmitancia térmica de muros, pisos y vanos vidriados (Artículo 4.1.10 de la OGUC). Para la aplicación de esta normativa se dividió el país en 7 zonas térmicas que se aplican al Chile continental e insular, excluyendo la antártica. Estas zonas se definen en base al criterio de los grados día de calefacción anuales, en base a información meteorológica de larga data. Los grados día de calefacción se refieren a la demanda de energía de una vivienda para lograr la temperatura de confort interior base.

Esta clasificación se basa en una sola variable asociada a las condiciones de confort en invierno, lo que permite que en una misma zona climática se encuentren localidades con climas muy distintos. En esta normativa se toman en cuenta básicamente los factores de aislamiento para mejorar el confort dentro de los edificios, para lo que se solicita cumplir con determinados valores de transmitancia y resistencia térmica.

En el caso de la techumbre se solicita minimizar los puentes térmicos, pero se autoriza que el elemento de aislamiento no sea continuo cuando lo interrumpen elementos estructurales o conductos. Para mejorar la solución constructiva se solicita crear continuidad entre muros y techo, y que las ventanas inclinadas que formen parte de la



**Figura 2.** Consumo energético por sector.  
**Figure 2.** Distribution of energy consumption.

Grados día anuales por zona termica	
Zona	Grado día (anual, en base a 15°C)
1	≤500
2	>500 ≤750
3	>750 ≤1000
4	>1000 ≤1250
5	>1250 ≤1500
6	>1500 ≤2000
7	>2000

**Figura 3.** Grados día anuales/zona térmica.  
**Figure 3.** Annual degree days/thermal zone.

<sup>3</sup> Destacan los programas de Mejoramiento Térmico de Vivienda del MINVU, y de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE).

Zona	Techumbre		Muros		Pisos ventilado		% Máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de		
	U	Rt	U	Rt	U	Rt	Vidrio monolítico	Doble vidriado	
	W/m2K	W/m2K	W/m2K	W/m2K	W/m2K	W/m2K		3.6 W/m2K ≥ U >	U ≤ 2.4
1	0,8	1,2	4,0	0,3	3,6	0,3	50%	60%	80%
2	0,6	1,7	3,0	0,3	0,9	1,2	40%	60%	80%
3	0,5	2,1	1,9	0,5	0,7	1,4	25%	60%	80%
4	0,4	2,6	1,7	0,6	0,6	1,7	21%	60%	75%
5	0,3	3,0	1,6	0,6	0,5	2,0	18%	51%	70%
6	0,3	3,6	1,1	0,9	0,4	2,6	14%	37%	55%
7	0,3	4,0	0,6	1,7	0,3	3,1	12%	28%	37%

**Figura 4.** Norma térmica chilena OGCU 4.1.10.

**Figure 4.** Chilean thermal standard OGCU 4.1.10.

techumbre sean resueltas con vidrio doble hermético, con una transmitancia igual o menor a 3,6 W/m<sup>2</sup>K (zonas 3 a la 7 inclusive). En muros se solicita cumplir con la normativa exclusivamente en aquellos que limiten la vivienda con el exterior. Los muros medianeros no están normados. Se permiten los mismos puentes térmicos que en el complejo de techumbre, y se permite que en viviendas construidas en albañilería confinada (sistema constructivo de la mayor parte de la edificación residencial) los elementos estructurales como pilares, vigas y zunchos no deban cumplir con las exigencias de la norma. Para pisos ventilados se considera que el revestimiento térmico también puede ser interrumpido por vigas y conductos. En el caso de huecos, la normativa establece porcentajes máximos de vanos vidriados en las fachadas de las viviendas, pero no distingue orientaciones ni factor solar. Estas exigencias están relacionadas con la zona térmica en que se encuentra la vivienda y el tipo de acristalamiento. Es decir, que si mejora la calidad del vidrio, se permite un mayor porcentaje de superficie acristalada.

Comparada con otras normativas recientes, como el Código Técnico de Edificación español (CTE), la normativa chilena presenta algunas diferencias notables:

- El CTE se aplica a todo el sector de la edificación, mientras la normativa chilena se aplica exclusivamente a viviendas.
- En cuanto a las restricciones en transmitancia térmica en muros, el CTE se maneja entre valores de 1,22 y 0,74. Teniendo en cuenta que, salvo la zona 7, el resto de la variabilidad climática en Chile, en relación a la temperatura, puede compararse con la existente en España, los valores globales del CTE son mucho más restrictivos.

- En suelos y techos, la normativa chilena presenta mucha más variabilidad, siendo más restrictiva en climas más fríos y más permisiva en climas cálidos, frente a la normativa del CTE, que considera una variabilidad menor, más estable en toda condición.
- En vidrios, la norma chilena establece una relación entre tipo de vidrio y superficie máxima acristalada, limitando ésta última en función del tipo de vidrio, permitiendo vidrios monolíticos en cualquier condición climática. El CTE es más complejo, limitando la pérdida máxima por porcentaje de hueco dependiendo de la zona climática, la orientación y el factor solar. En términos generales, y aplicando los mismos porcentajes, el CTE aparece como bastante más restrictivo en toda condición, ya que, por ejemplo, parece imposible cumplir con sus especificaciones utilizando exclusivamente vidrios monolíticos.
- El CTE contempla especificaciones para las carpinterías, lo que no hace la norma chilena.
- El CTE contempla valores de transmitancia máxima en muros medianeros, lo que no hace la norma chilena.
- La división climática que se aplica en el CTE, a partir de cinco zonas climáticas, combinadas con la severidad del clima en invierno y verano, alcanza dentro del territorio español una subclasificación en 12 zonas, frente a las 7 definidas en la normativa chilena, teniendo Chile una variabilidad geográfica (y consecuentemente climática) en latitud y en altitud muy superior a la de España.

Comparación entre la norma térmica chilena y la española (vidrios)			
% de superficie de huecos	OGUC - Chile		CTE - España
	Zona 3 y Zona 4		Zona C
0 a 10	U ≥ 3,6		4,4
11 a 20	U ≥ 3,6		4,4 ≥ U > 3,4
21 a 30	3,6 ≥ U > 2,4		3,5 ≥ U > 3,0
31 a 40	3,6 ≥ U > 2,4		3,5 ≥ U > 3,0
41 a 50	3,6 ≥ U > 2,4		3,4 ≥ U > 2,2
51 a 60	3,6 ≥ U > 2,4		3,9 ≥ U > 2,6
			3,6 ≥ U > 2,4
			3,2 ≥ U > 2,1
			3,0 ≥ U > 1,9

% de superficie de huecos	OGUC - Chile		CTE - España
	Zona 3 y Zona 4		Zona C
0 a 10	U ≥ 3,6		U ≥ 3,6
11 a 20	U ≥ 3,6		3,6 ≥ U > 2,4
21 a 30	3,6 ≥ U > 2,4		3,6 ≥ U > 2,9
31 a 40	3,6 ≥ U > 2,4		3,6 ≥ U > 2,6
41 a 50	3,6 ≥ U > 2,4		U ≤ 2,4
51 a 60	U ≤ 2,4		U ≤ 2,4

\* La normativa Chilena solo se refiere a pisos ventilados

**Figura 5.** Comparación entre la norma térmica chilena y la española (vidrios).

**Figure 5.** Comparison between Chilean and Spanish thermal standard (glasses).

Comparación entre la norma térmica chilena y la española (envolvente)				
(W/m2K)	OGUC - Chile		CTE - España	CTE - España
	Zona 3	Zona 4	Zonas C	Zonas D
Muros	1,9	1,7	0,95	0,86
Suelos	0,7*	0,6*	0,65*	0,64
Cubiertas	0,47	0,38	0,53	0,49*

(W/m2K)	OGUC - Chile		OGUC - Chile	CTE - España
	Zona 5	Zona 6	Zona 6	Zonas E
Muros	1,60			0,74
Suelos	0,5*			0,62
Cubiertas	0,33			0,46

\* La normativa Chilena solo se refiere a pisos ventilados

**Figura 6.** Comparación entre la norma térmica chilena y la española (envolvente).

**Figure 6.** Comparison between Chilean and Spanish thermal standard (envelope).

Algunas otras diferencias se establecen en cuanto a parámetros higrométricos, condensaciones y calidad del aire, que la normativa chilena no contempla, como tampoco hace en relación a contribuciones mínimas de energía solar para ACS o a reglamentación específica sobre eficiencia energética en instalaciones de climatización<sup>4</sup>.

Algunas de las especificidades de la normativa chilena se explican precisamente por el tipo de parque

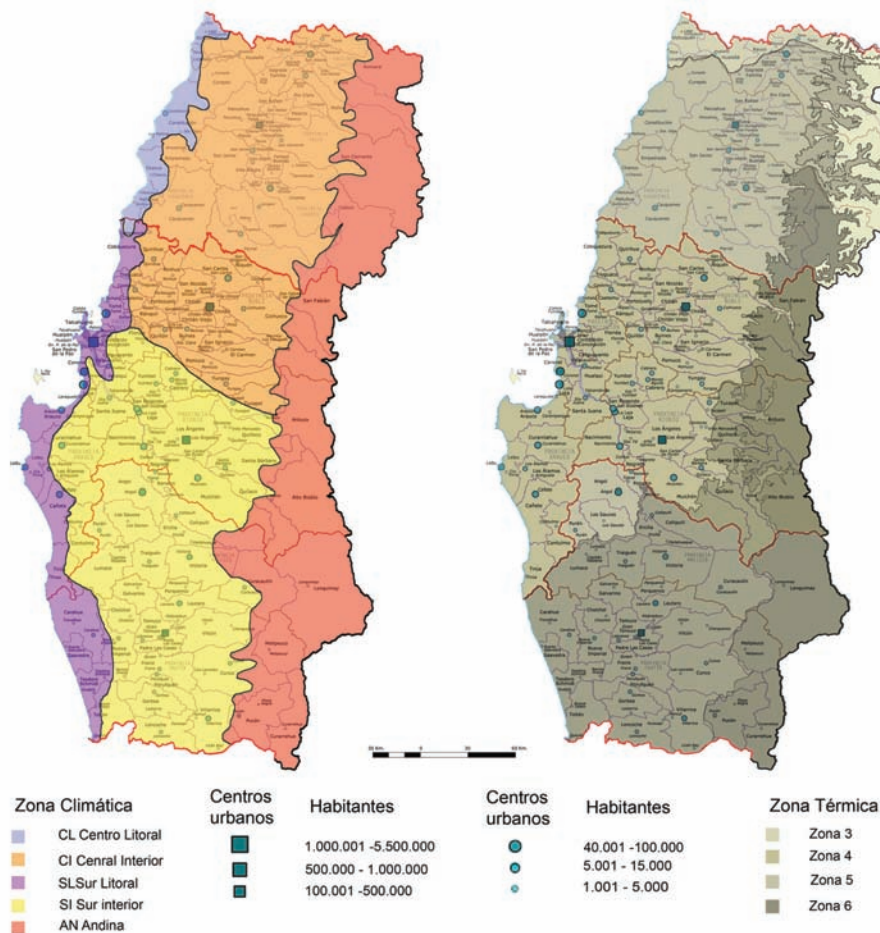
inmobiliario residencial, con una masiva predominancia de la vivienda unifamiliar aislada, lo que explica la mayor atención en la envolvente a suelos y techos y la poca atención prestada a medianeras, muros compartidos y divisiones interiores. Otras se explican por la escasa implementación de algunos sistemas constructivos, como los vidrios dobles, o la nula atención prestada a los tipos de carpinterías, que no se contemplan en la norma. En todo

<sup>4</sup> La eficiencia en las instalaciones de climatización es otro grave problema en Chile. En viviendas residenciales unifamiliares, la mayor parte de la climatización se resuelve por medio de leña en estufas de combustión lenta. La mala calidad de la madera (húmeda sin certificar) convierte a este sistema en poco eficiente y contaminante.

caso, la reglamentación actual propone mejoras principalmente para la época de invierno con el fin de disminuir el consumo de calefacción de cada vivienda, mediante el aumento del aislamiento térmico de la envolvente, para que la temperatura generada dentro de la vivienda se mantenga en ella por más tiempo. Esta idea se complica cuando se toman en cuenta los puentes térmicos que se producen al permitir continuidad entre los elementos constructivos, por los problemas de infiltraciones, asociados a los problemas de humedad, y por la falta de inercia térmica en muchas construcciones. La normativa sólo desarrolla especificaciones sobre la transmitancia, pero no sobre sistemas constructivos, como indicar posición del aislamiento o de la masa en relación con el interior o el exterior de la edificación, cuestiones muy importantes a la hora de evaluar el comportamiento térmico de la vivienda.

La escasa representatividad de la zonificación térmica, en relación a la amplitud y variabilidad geográfica y climática del país, se asocia básicamente a las condiciones de confort en invierno, lo que permite que

en una misma zona climática se encuentren localidades con climas muy distintos. Los factores como la oscilación térmica durante el día y la noche, la oscilación de las temperaturas durante todo el año, la nubosidad, la radiación solar, la intensidad y dirección del viento, las precipitaciones y la humedad, no están contemplados. Existe otra zonificación climática, contemplada en la norma NCh 1079 Of.77, que establece una diferenciación más acorde con la realidad del país, que ha sido utilizada en algunos manuales de buenas prácticas para dar recomendaciones de diseño más específicas (Bustamante, 2009). Parte de las carencias de la normativa deberían resolverse con la implementación del sistema de evaluación energética de viviendas, que, al igual que el CTE, establece métodos computacionales más precisos (programas LIDER o CALENER) a la hora de establecer los valores límite de la envolvente, la demanda de energía y el porcentaje de eficacia en relación a un edificio de referencia. Este sistema se encuentra en fase de desarrollo y debería entrar en servicio de forma voluntaria en 2011.



**Figura 7.** Zonificación térmica y climática en las regiones de estudio.  
**Figure 7.** Thermal and climatic zoning in the regions studied.

## Situación geográfica y condiciones de distribución de la población

En la zona centro sur de Chile se encuentran las regiones del Maule, la región del Bío-Bío y de la Araucanía. Estas regiones se definen como las más afectadas por el terremoto y tsunami del 27 de Febrero de 2010, y resultan un territorio de oportunidad a la hora de plantear procesos de innovación en la construcción y rehabilitación de viviendas, al ser regiones priorizadas en los planes de reconstrucción<sup>5</sup>. La zonificación climática de referencia, según la normativa vigente (LGUC), establece una división de la región en 4 zonas climáticas, con una marcada diferenciación horizontal en orden a la latitud, con la única salvedad de la zona cordillerana. Esta división establecida por la normativa y a todas luces insuficiente resulta mejor definida en la normativa NCH1079-2008, que propone mayores diferencias, especialmente en lo referido a una mayor subdivisión entre litoral, centro y cordillera, combinando diferencias de latitud con diferencias orográficas, de proximidad al mar y de altitud.

La distribución de la población en las regiones de estudio revela tanto la tendencia a la agrupación en ciudades, como la distribución tipológica de las viviendas, con una abrumadora mayoría de viviendas unifamiliares.

Por regiones, el Maule tiene 15 ciudades que concentran un 57,9% de la población total de la región y que concentran un 56,8% de las viviendas. Las ciudades que concentran la mayor cantidad de habitantes de la región son Talca, Curicó y Linares, estando todas ellas situadas en la franja central de la región, con una climatología muy similar, aunque debido a su singularidad como polos de desarrollo y a la distancia existente entre ellas, parece conveniente estudiarlas de modo separado. La ciudad más grande situada en un entorno climático diferente es Constitución, situada en la costa.

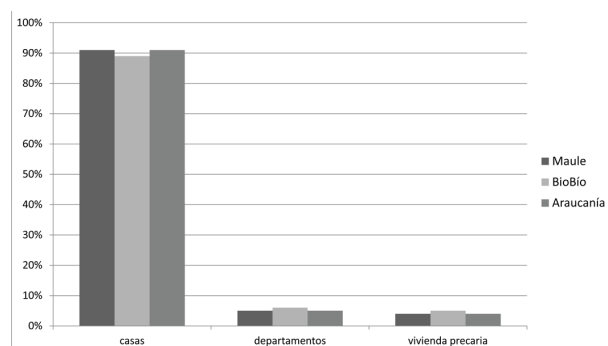
La región del Bío-Bío tiene 35 ciudades que concentran un 77,1 % de la población total regional con un 74,4% de las viviendas de la región. El mayor número de habitantes y viviendas se encuentra en la conurbación formada en el eje Lota-Coronel-San Pedro-Concepción-Talcahuano-Penco-Tomé, que discurre de norte a sur a lo largo de la costa, y que puede definirse con características climáticas unitarias. A lo largo de la costa y más al sur, Lebu se conforma como otro polo de densidad, en condiciones geográficas de costa más expuestas. En el interior, las mayores densidades de población se ubican en Chillán y en Los Ángeles. Aunque ambas ciudades se sitúan en la zona central, la distancia existente entre ellas hace adecuado un estudio diferenciado del clima en ambas localidades. Además, en la subdivisión pertinente a la norma NCH1079, ambas localidades también se encuentran situadas en zonas climáticas distintas.

La región de la Araucanía tiene 20 ciudades que concentran un 59,8 % de la población total regional y un 56,8% de las viviendas de la región. La ciudad que concentra el mayor número de habitantes es Temuco, situada en la zona central. El resto de núcleos de población se encuentran más dispersos (las mayores densidades de núcleos urbanos menores se sitúan al norte, en proximidad con Los Ángeles, por lo que pueden asimilarse a sus datos climáticos de referencia). La zona costera, en términos estadísticos, se encuentra muy despoblada. En la zona cordillerana se sitúan los dos núcleos de población más habitados de todo el eje de la cordillera sur, el sistema Pucón-Villarrica, con densidades de población muy variables dada la estacionalidad de su ocupación, como corresponde a su condición turística. Es de destacar que este núcleo, aunque situado en la cordillera, se encuentra dentro de un ámbito geográfico con un microclima muy particular, dada su cercanía al lago Villarrica y a los accidentes geográficos que le rodean.

Por zonas térmicas, la mayoría de la población se concentra en la zona 4 y, en menor medida, en la 5, siendo la zona 3 (norte del Maule) y la cordillerana residuales en cuanto a población. Por tanto, las acciones estratégicas de mejora de la edificación residencial deberían concentrarse, fundamentalmente, en las viviendas unifamiliares de los núcleos urbanos de la zona 4, y en menor medida, de la 5, ya que una reducción del consumo energético en dicho ámbito tendría un efecto multiplicador y de fuerte impacto por la densidad de población.

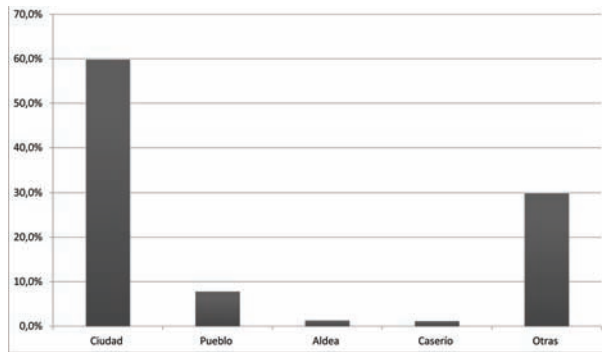
## Análisis climático y climogramas

Para establecer algunas recomendaciones precisas de acción y estrategia de diseño arquitectónico, se han utilizado los climogramas de Givoni, estudiados en los lugares señalados anteriormente. La carta de Givoni se



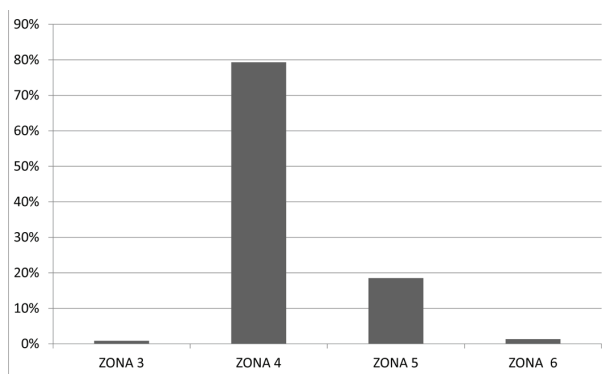
**Figura 8.** Distribución tipológica de viviendas.  
**Figure 8.** House typology distribution.

<sup>5</sup> MINVIU, subsidios de reconstrucción post-terremoto, 2010.



**Figura 9.** Distribución urbana de la población.

**Figure 9.** Urban distribution of population.



**Figura 10.** Distribución de la población según zonas térmicas.

**Figure 10.** Population distribution according to thermal zones.

basa en un índice de tensión térmica (ITS) que delimita una zona de bienestar. Este método contempla las características de la construcción como modificadoras de las condiciones del clima exterior, para alcanzar los niveles de confort en el interior de las edificaciones. Combina una triple entrada con temperaturas de bulbo seco, la tensión parcial del vapor de agua y la humedad relativa. Se delimitan varias zonas, cuyas características indican la conveniencia de utilizar unas determinadas estrategias de diseño en la edificación. En aquellas zonas en las que se superponen distintas estrategias, se puede usar una, otra o acciones combinadas. Las acciones se consideran superpuestas, de tal modo que un buen aprovechamiento pasivo, aunque insuficiente en sí mismo, disminuye el coste de energía destinado a calefacción activa.

En los climogramas utilizados, se ha usado el mismo estándar que el desarrollado en investigaciones análogas en otras latitudes (Luxan *et al.*, 1996). Aunque la normativa chilena contempla estándares de confort más bajos (la norma chilena acepta 15C° como temperatura mínima), se considera utilizar un estándar de confort más universalmente aceptado y definido en el propio climograma, tanto como medida de comparación, como por considerar que el paulatino aumento de la calidad de vida y de la demanda de bienestar apuntarán lógicamente en esta dirección. El estudio se ha realizado utilizando los datos climáticos obtenidos de los observatorios en los lugares estudiados, utilizando los datos de medias de máximas y mínimas en cada mes.

### **Región del Maule**

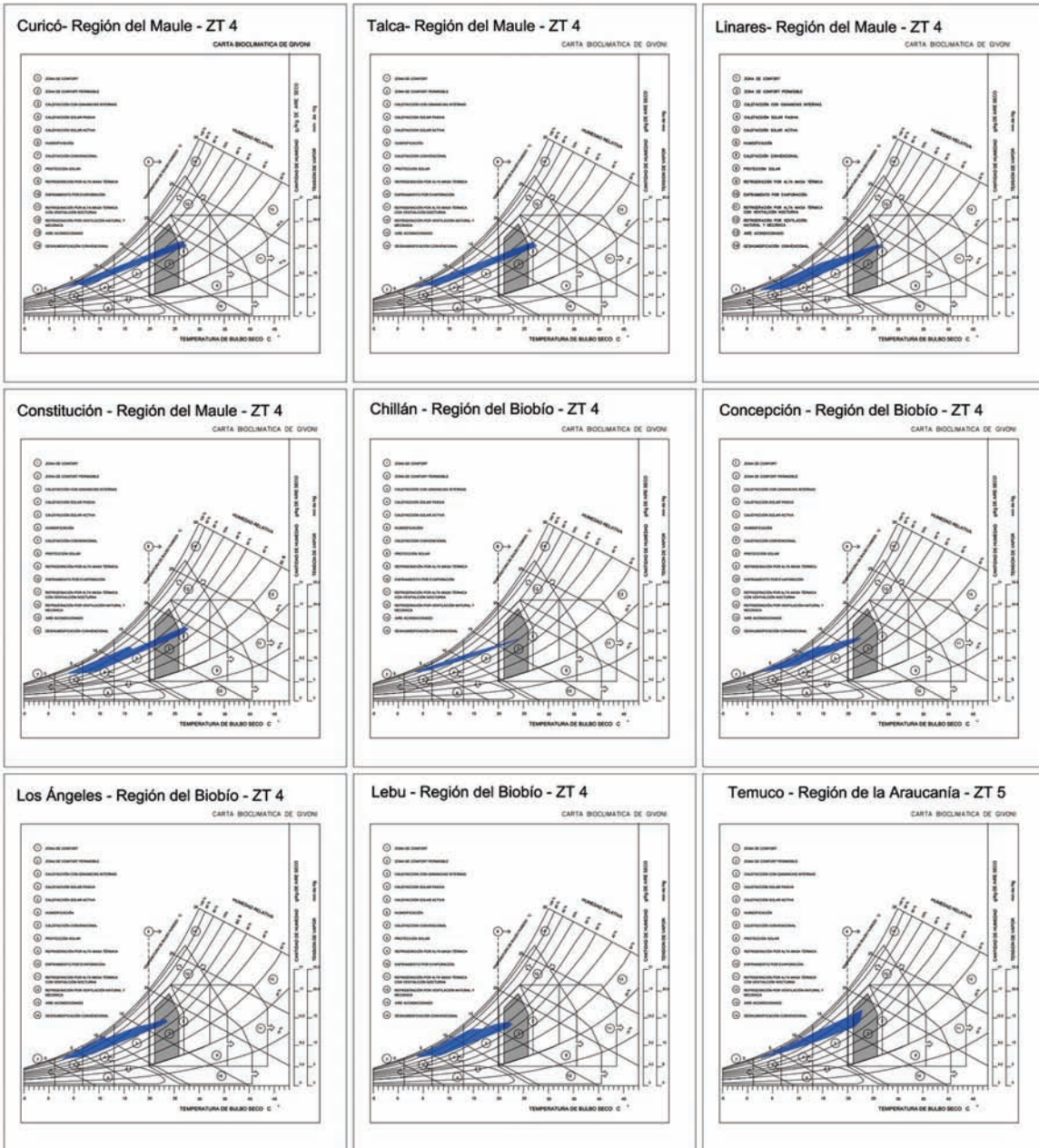
La región presenta tres zonas bien diferenciadas climáticamente. La mayor parte de la población se distribuye en la zona costera (minoritaria) y en la central (mayoritaria), siendo la zona andina prácticamente testimonial en cuanto a ocupación. Esta distribución coincide con la descrita en la norma NCH1079, frente a la más homogénea pero menos real LGUC, que agrupa ambas zonas. En el caso de la zona central, y dado que la distribución de las poblaciones de mayor densidad analizadas (Curicó, Talca y Linares) se reparten de modo muy homogéneo en el territorio con características climáticas muy similares, puede afirmarse que las condiciones de confort podrían alcanzarse básicamente mediante captación de radiación solar y acumulación en masa térmica. Solo los valores más extremos invernales necesitan de un apoyo externo de calefacción, al igual que los estivales, que podrían resolverse mediante ventilación y protección de huecos. En la zona costera (Constitución), dada la mitigación por efecto del mar, incluso estas condiciones extremas podrían asumirse, siempre y cuando se mitigara la humedad en el interior de las edificaciones<sup>6</sup>.

### **Región del Bío-Bío**

Se constata aquí también la existencia de tres zonas bien diferenciadas, aunque en este caso la población se distribuye de modo inverso a lo que sucede en la región del Maule: la zona costera está mucho más poblada que la central y muy concentrada en torno al área metropolitana de Concepción, en el eje Lota-Tomé, y en Lebu, en el extremo sur. La zona andina es prácticamente testimonial en cuanto a ocupación y densidad de población. Esta distribución coincide con la descrita

<sup>6</sup> En algunas entrevistas realizadas a los habitantes de viviendas sociales de Constitución, varios de ellos se refirieron a que no utilizan sistemas de calefacción en ningún momento. Aunque dicha respuesta hay que condicionarla a los niveles subjetivos de confort y a las bajas condiciones económicas, se puede concluir que los datos obtenidos por los climogramas en cuanto a la posibilidad de acondicionar exclusivamente con sistemas pasivos son fácilmente alcanzables.





**Figura 11.** Climogramas de los principales núcleos urbanos de las regiones estudiadas.  
**Figure 11.** Climograms of the main cities in the regions studied.

en la norma NCH1079, frente a la más homogénea pero menos real LGUC, que agrupa ambas zonas. En el caso de la zona central (Chillán), son de aplicación parecidas recomendaciones que en la zona central de la región del Maule, aunque con condiciones algo menos extremas en las puntas de calor. Las condiciones de confort podrían alcanzarse básicamente mediante captación de radiación solar y acumulación en masa térmica, teniendo cuidado con los sobrecalentamientos puntuales en verano, pro-

tegiendo huecos, evitando ganancias solares directas e introduciendo ventilación en las horas más extremas. Los valores mínimos invernales necesitan de un apoyo externo de calefacción. En la zona costera, la mitigación por efecto del mar se considera sólo en los meses estivales, dado que en los meses invernales es necesario mitigar la humedad, para lo que también es necesario complementar las ganancias solares con algún sistema de calefacción activa.

### Región de la Araucanía

La región presenta tres zonas diferenciadas climáticamente, aunque la población se agrupa principalmente en la zona central, destacando la ciudad de Temuco, estando la zona costera poco habitada. La población de la zona cordillerana se concentra en el área Pucón-Villarrica. En ambas zonas el clima es bastante extremo, con mayores oscilaciones en el área de Temuco, que además presenta problemas de humedad en invierno. En ambos casos los problemas son de pérdida de confort por frío, más extremos y de mayor duración anual en la zona cordillerana, donde se necesita calefacción todo el año, incluso en verano. En la zona central, gran parte de las demandas por frío pueden ser resueltas con ganancias solares directas.

Del análisis de los climogramas realizados sobre los núcleos de mayor densidad de población, y que se consideran significativos al abarcar un ámbito territorial extenso replicable en entornos cercanos, y aunque no se hayan considerado los factores de corrección necesarios en cuanto a las condiciones derivadas de los microclimas locales, pueden ya desprenderse algunas consideraciones en torno a los resultados obtenidos:

- Básicamente pueden considerarse tres grandes condiciones climáticas ligadas a zonas geográficas concretas: costa, centro y cordillera. La latitud influye en la corrección de la respuesta, en cuanto a extremar las condiciones de frío según se desciende y se desplaza hacia la cordillera. En todas las situaciones, el problema de confort surge siempre de las necesidades de obtener calor, y en muchos casos de protegerse frente a la humedad, cuando no de disminuirla.
- No existen problemas de refrigeración, salvo los que pueda generar la mala práctica arquitectónica. Bastaría con proteger los huecos de la radiación y evitar acumular el mismo, o bien desfazar la acumulación unas 8h., para conseguir buenas condiciones de confort en verano, especialmente en las zonas centrales.

- Los problemas derivados de la necesidad de obtener calor pueden ser resueltos, durante la mayor época del año, mediante ganancias solares directas y acumulación inercial de la misma. Salvo en las zonas de cordillera, donde es necesario un apoyo activo de calefacción durante todo el año, en el resto de zonas climáticas bastarían apoyos puntuales de calefacción activa entre mayo y septiembre, que podrían ser en baja temperatura, si fueran apoyados por la parte pasiva.
- En cualquier caso, es necesario disponer prácticamente en todas las situaciones de un sistema de calefacción de apoyo en las puntas de menor temperatura. El diseño y las especificidades de dicho sistema se consideran importantes a la hora de disminuir el gasto energético, con lo que se recomienda el estudio específico integrado de aquellos más adecuados, en costes de energía, mantenimiento y uso.

### Condiciones tipológicas y morfológicas de la edificación

El mayor número de viviendas existentes en la región de estudio corresponde a viviendas unifamiliares, con porcentajes que rondan el 90%. Esta tendencia además está en aumento, como se deduce de la tabla de viviendas edificadas en el año 2009, donde la superficie total edificada para viviendas en las tres regiones alcanzó a 2.854.769m<sup>2</sup>, destacando la región del Bío-Bío, con un percentil doble al de sus regiones vecinas. De la superficie construida en las tres regiones, la mayoría se destina a viviendas aisladas o pareadas de uno o dos pisos. De lo anteriormente expuesto, puede deducirse que la tendencia es a incrementar las construcciones en baja densidad, de una o dos plantas, frente a la vivienda colectiva.

Muchos estudios tipológicos se han realizado para determinar teóricamente la relación entre densidad, agrupación y demanda energética<sup>7</sup> (Fitzgerald *et al.*, 2007). De cualquiera de ellos, en mayor o menor porcentaje, se determina que, a menor densidad, la demanda energética

Obras nuevas	Region del Maule		Region del BioBio		Region de la Araucanía	
Viviendas 1 Piso	5.188	61%	8.104	42%	4.073	52%
Viviendas 2 Piso	3.254	38%	10.714	56%	2.970	38%
Otros	3	1%	61	2%	807	10%
TOTAL	8.445	100%	18.879	100%	7.850	100%

**Figura 12.** Cantidad y Porcentaje de viviendas.  
**Figure 12.** Quantity and percentage of dwellings.

<sup>7</sup> Valores habitualmente manejados para vivienda unifamiliar frente a la vivienda aislada dan reducciones en la demanda de un 27% en edificaciones adosadas, de un 13% en viviendas pareadas y de un 50% si la tipología pasa a ser en vivienda colectiva, dependiendo de la calidad de la construcción.

por unidad de vivienda aumenta, debido a las mayores pérdidas por transmisión por unidad de volumen. Si a ello se le suman las pérdidas producidas por costes ambientales en ocupación del territorio, por el incremento de longitud en las redes de abastecimiento, por el incremento de costes en transporte debido al incremento de las distancias (al que hay que sumar una mayor ineficiencia por el mayor uso del transporte privado frente al colectivo), se obtiene un panorama bastante desolador en cuanto a la estrategia global frente a la sostenibilidad en el territorio de estudio.

Con respecto a las cuestiones morfológicas, no existe ni se considera ninguna normativa o reglamentación con respecto a la orientación de las edificaciones, su coeficiente de forma, factor solar, porcentaje de obstrucciones u otras características determinantes a la hora de posicionarse de un modo más eficiente para minimizar pérdidas y maximizar ganancias energéticas. La distribución de las parcelas en las urbanizaciones y de los bloques de apartamentos parece que vienen consignadas más por la necesidad de maximizar la ocupación de espacios y la rentabilidad del terreno, que por otro tipo de cuestiones intrínsecas a la práctica arquitectónica, y mucho menos a la sostenibilidad de las mismas. Llama la atención en dicho sentido que estas cuestiones, como las referidas al correcto asoleo de la edificación, sí estaban contenidas, por ejemplo, en el plan urbanístico de Concepción de los años '60 (Goycoolea Infante, 2011), mientras que en el actual, han desaparecido.

De los datos de los permisos otorgados por la municipalidad de Concepción, el 41.1% de las viviendas se construyeron con ladrillo como único material en muros y el 25.8% se construyeron en hormigón armado (principalmente edificios en altura). Otros tipos de muros fueron ladrillos combinados con madera (8.7%), madera (12.4%) y bloques de mortero cemento (5.8%). El resto corresponde a otros materiales u otro tipo de combinaciones. El sistema constructivo más habitual es el formado por muros portantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón, con losa de hormigón como forjado. En las viviendas unifamiliares de dos alturas, el segundo piso suele realizarse con estructura de madera, panelada a doble cara. A falta de datos sobre los aislamientos y las carpinterías, convendría deducir que ambos se han realizado con los mínimos establecidos por las normativas en vigor en cada momento. Sin embargo, es de destacar, por entrevistas realizadas a técnicos municipales, que el control efectivo del cumplimiento de la reglamentación térmica es muy precario, tanto a nivel de proyecto (basta presentar una declaración de intenciones, pero no una memoria de cálculo), como a nivel de control de obra ejecutada. Los datos sobre la tipología constructiva

no distinguen la posición del aislamiento dentro del muro ni la composición de forjados y cubiertas, pero la práctica habitual en rehabilitación térmica es el aislamiento por el interior, y en nueva construcción, la colocación de un mortero térmico de 1cm. al exterior, o la introducción del aislamiento en el interior de tabiquería de madera.

### Respuesta térmica y eficiencia energética

Para analizar comparativamente el comportamiento térmico de la tipología de vivienda en baja densidad, se han realizado dentro del marco del proyecto algunas simulaciones esquemáticas, que deberán comprobarse con mayor precisión en análisis más detallados, pero que sirven de orientación para enfocar el problema<sup>8</sup>. Se partió de una vivienda tipo de 90m<sup>2</sup> en dos plantas, situada en la Ciudad de Concepción, con una distribución tradicional (comedor-estar, cocina y aseo en planta baja, y tres dormitorios y dos baños en el piso superior), con cubierta a dos aguas y una relación de superficie acristalada con respecto a fachada de un 30% en fachada norte y de un 20% en fachada sur. En las fachadas este y oeste se despreció el porcentaje de huecos, puesto que en el modelo estudiado era realmente ínfimo, y en muchas de las viviendas visitadas en el proceso de selección se comprobó la abundante existencia de tipologías que eliminan completamente los huecos en los muros medianeros laterales, para permitir posibilidades de adosamiento, sin cambiar el modelo de partida. Esta elección permite además simular adosamientos por medianeras sin cambiar los parámetros de comparación. Se consideró una construcción tipo, con valores de transmitancia idénticos a los propuestos por la norma en la zona térmica 4, simulando tres formas prismáticas con cubierta a dos aguas según su relación frente-fondo. Se utilizó una matriz de planta de 8,50m. de fondo por 5,50m. de ancho, variando hacia una planta cuadrada o hacia otra planta rectangular, de la misma superficie, pero invirtiendo la fachada, con el lado mayor en dirección del eje este-oeste. Se realizaron comparaciones entre estos mismos modelos, para averiguar la relación entre forma y respuesta energética, y se variaron los parámetros constructivos para averiguar la mejora producida al incrementar los valores de transmitancia en muros y suelos, el tipo de vidrio y carpintería empleado, y el tipo de construcción, con o sin masa térmica. Para ello, se utilizó una vivienda mejorada aplicando los parámetros de CTE en muros y ventanas, utilizando valores intermedios correspondientes a las zonas C y D, de características similares. En este último caso, se consideró exclusivamente los 10cm. primeros de masa del material efectivo en contacto con el ambiente interior, despreciando la masa existente hacia el exterior a partir

<sup>8</sup> Las simulaciones se han realizado con el programa CASAnova, versión 3.3.08., de la Universidad de Siegen. Es un programa de aproximación, que permite múltiples reiteraciones de modo sencillo. Aunque los resultados no son precisos, se consideran válidos para establecer tendencias.

de la capa de aislamiento. Todos los casos se estudiaron para una posición norte-sur con respecto al eje de fachada.

En relación con el método de análisis, puede inferirse que de la aplicación estricta de los parámetros de la norma para el objeto de estudio se obtienen unos resultados altos de demanda energética en distintas formas y agrupaciones. Independientemente de la fiabilidad asignada al programa utilizado, menos preciso que otros más expertos (Bustamante, 2009), hay que resaltar que dicha desviación es constante. En todo caso, y aunque los valores obtenidos no pueden tomarse como absolutos, sí son indicativos, y pueden relacionarse entre sí en porcentajes de eficiencia con respecto al modelo de partida, una relación que puede tomarse como más fiable.

Si se considera la vivienda analizada según los parámetros de la norma, no existen diferencias significativas entre los distintos tipos de planta. Aunque los mejores resultados se obtienen con la vivienda situada con el eje mayor en posición este-oeste, la diferencia con respecto a la posición norte-sur es de apenas un 4%. Esta diferencia aumenta hasta un 17% en el caso de la vivienda mejorada, aunque vuelve a disminuir cuando se aplican correcciones para aumentar las ganancias solares. Estas diferencias tienden incluso a disminuir con la agrupación, que se convierte en un factor determinante a la hora de disminuir la demanda. Así, las mejores soluciones se obtienen con viviendas adosadas rectangulares con eje mayor en dirección norte-sur. Tanto en el caso de la vivienda de norma como en el de la

vivienda mejorada, se obtiene una mejora de un 55%, con respecto a la misma vivienda aislada.

Junto con la agrupación, el siguiente factor determinante es la mejora de la envolvente. Considerando únicamente una mejora del aislamiento, sin incremento de la masa térmica (con una solución constructiva que, por ejemplo, implicara un aislamiento trasdosado interiormente a la fachada, con una transmitancia de  $0,8W/m^2C^{\circ}$ ), y una mejora de los vidrios, pasando a un vidrio doble con cámara de  $3W/m^2C^{\circ}$ , se obtiene en cada tipo de vivienda una mejora del orden de un 40%, aunque en este caso las mejoras son inversamente proporcionales al adosamiento, es decir, en el caso de las viviendas adosadas, esta diferencia en la mejora de la envolvente se reduce a un 30%. La mejora de la masa térmica influye en la mejora del rendimiento aproximadamente en otro 30%. Este dato se revela fundamental, puesto que es algo no incluido en la norma. A iguales valores de transmitancia de muro (lo que sí regula la norma), no son iguales las respuestas dependiendo de donde se sitúen los aislamientos y la masa del edificio.

La última mejora introducida se refiere a las ganancias solares, aunque, para que éstas sean significativas, es necesario previamente disponer de masa térmica al interior. Las simulaciones demuestran que la ausencia de masa térmica, aunque se incremente la captación solar, sólo produce mayores diferencias en la oscilación de la temperatura interior, pero no ganancias acumulables.

TIPOS	1			2			3											
	5,5	8,5	45m <sup>2</sup> 45m <sup>2</sup> 90m <sup>2</sup>	6,7	8,7	45m <sup>2</sup> 45m <sup>2</sup> 90m <sup>2</sup>	8,5	8,5	45m <sup>2</sup> 45m <sup>2</sup> 90m <sup>2</sup>									
AGRUPACIÓN																		
VIVIENDA SEGÚN NORMA (1) Kwh m2/año	147	107	69	143	111	81	140	115	91									
VIVIENDA MEJORADA SIN MASA (2)	91	-39%	70	-35%	50	-28%	87	-39%	71	-36%	55	-33%	75	-46%	67	-42%	60	-34%
VIVIENDA MEJORADA CON MASA TÉRMICA (3)	76	-49%	54	-49%	33	-51%	71	-50%	55	-51%	38	-53%	65	-54%	53	-54%	40	-56%
OPTIMIZACIÓN DE VANOS AL NORTE (4)	58	-61%	34	-69%	20	-71%	54	-63%	42	-62%	29	-72%	51	-64%	41	-65%	34	-63%
% DE VANOS AL NORTE CON RESPECTO A LA SUPERFICIE DE LA VIVIENDA (4)	22%		21%		20%		19%		17%		17%		22%		21%		20%	
COMPOSICIÓN CONSTRUCTIVA																		
		MUROS (W/m <sup>2</sup> C)	VENTANAS (W/m <sup>2</sup> C)	% HUECOS NORTE	% HUECOS SUR	MASA INTERIOR (10cm)												
(1)		1,7	5,8	30	20	No												
(2)		0,8	3	30	20	No												
(3)		0,8	3	30	20	Si												
(4)		0,8	3	-	10	Si												

Figura 13. Análisis térmico en viviendas de 90m<sup>2</sup>.  
Figure 13. Thermal analysis of 90m<sup>2</sup> houses.

Incorporando masa térmica, y aumentando la superficie de ventana captora, se obtienen mejoras con respecto a los resultados anteriores variables, pero significativas. En el caso de las viviendas aisladas, se obtienen mejoras del orden de un 20-25%, mientras que en el caso de las viviendas pareadas dichas mejoras se amplían desde un 20% a un 55%, dependiendo de si el adosamiento es pareado (menos diferencias), es adosado por ambas medianeras (más eficiente) o de si la forma es más o menos alargada en dirección del eje norte-sur (mejor comportamiento global).

Para que las ganancias solares sean significativas, es necesario obtener una determinada cantidad de captación, cuyo óptimo se sitúa sobre el 20% de la superficie útil construida, independientemente de su forma y adosamiento. A mayores superficies, aunque aumentan las ganancias, estas no lo hacen de modo tan significativo, dado que también se incrementan las pérdidas por transmisión a través de los huecos, además de iniciarse descompensaciones por sobrecalentamiento en los meses estivales. Una posible solución pasa por proteger dichos huecos en verano, pero las ganancias efectivas, aunque aumente la superficie, no resultan tan significativas al contrarrestarse con las pérdidas. En este caso, convendría realizar estudios más detallados.

Podrían optimizarse aún más las ganancias considerando captación en cubierta mediante lucernarios, una opción muy ventajosa y factible en las tipologías de vivienda unifamiliar, aunque conviene tener en cuenta que la radiación recibida en cubierta en invierno, entre 57° y 90° de inclinación, representa sólo el 20% de la radiación total recibida entre 27° y 57° de inclinación (Romero, 2008), con lo que los lucernarios deberán orientarse e inclinarse de modo adecuado para poder recibir radiación suficiente y efectiva.

## Conclusiones generales

De los análisis realizados pueden, como conclusión final, desprenderse las siguientes recomendaciones:

- Los parámetros de la norma térmica actual en Chile para vivienda, aunque son un avance general, son deficientes especialmente para el centro-sur del país, a la transmitancia en muros, medianeras y huecos, con lo que es necesario revisarlos. Mejoras significativas de comportamiento ambiental serían alcanzables a partir del aumento de dichos parámetros, mejorando las envolventes. Estas mejoras suponen el mayor incremento de costes para la mejora de la eficiencia energética.

- Las condiciones de los vidrios se consideran fundamentales a la hora de captar la radiación incidente y de conservar el calor, potenciando cada cosa o ambas a la vez, dependiendo de la orientación. En este sentido, la normativa chilena permite valores elevados de trans-

mitancia en vidrios (en vidrios monolíticos hasta un 25% de la superficie, lo que es asumible para iluminación, pero no para pérdidas por transmisión).

- Relacionado con lo anterior, la mejora es optimizable sin incremento de costes (o con un incremento mínimo), atendiendo a un factor relacionado con la construcción (colocar masa térmica al interior) y otro relacionado con el diseño, aumentando significativamente la superficie de ventanas captoras a norte, al menos hasta un 20% de la superficie construida. A partir de ese porcentaje, es necesario proteger los huecos frente a la radiación solar en los meses no invernales. Las ganancias solares pueden conseguirse directamente de la correcta orientación del edificio, de su adecuada distribución y compacidad, y de los sistemas de captación, fundamentalmente de la relación entre radiación incidente, superficie de captura, superficie útil, capacidad de almacenamiento (inercia térmica) y pérdidas por transmisión (aislamiento). También es necesario establecer el porcentaje de días nublados o de disminución de la radiación incidente en los meses más fríos, para compensar las pérdidas con mayor capacidad de captación. Podría optimizarse parte de dicha radiación por cubierta, teniendo en cuenta la inclinación, muy penalizada en invierno a partir de los 57° de inclinación.

- La distribución de la masa térmica y del aislamiento es determinante a la hora de conseguir ganancias solares acumulables. Es necesario que el calor acumulado y generado no se pierda, pero también es necesario retenerlo. Para ello se considera indispensable un buen aislamiento térmico en la envolvente y una adecuada distribución de la masa térmica. Los valores U de transmitancia en los muros, techos y forjados multicapas son independientes de su posición, pero su comportamiento es distinto. En condiciones de necesidad de captar calor, como es el caso, parecen recomendables soluciones de aislamiento al exterior y distribución de masa al interior, aunque en las situaciones de verano, donde las temperaturas tienden a bajar bastante durante la noche, si el vano se encuentra protegido para evitar sobrecalentamientos, la solución dificulta el desfase y amortiguamiento deseable para temperar el ambiente nocturno. Una solución de compromiso pasaría por situar el aislamiento en una situación intermedia, mediante doble muro. Aquí también hay que reseñar los altos valores de transmitancia admitidos en la normativa chilena, lo que hace difícil compatibilizar el aislamiento con las ganancias.

De lo anteriormente expuesto, podrían derivarse algunas recomendaciones normativas, de diseño y construcción para el comportamiento energético de viviendas en el centro-sur de Chile. Las referidas a los valores de la envolvente son importantes, y serían las más obvias. También sería eficaz no limitar la norma exclusivamente a los valores de transmitancia, sino incorporar factores

de ponderación según la posición del aislamiento y de la masa térmica. Por otra parte, sería bueno introducir normativas que relacionen el soleamiento con la superficie captora, impidiendo orientaciones imposibles de recibir soleamiento suficiente (unas 4 horas) en un porcentaje determinado de superficie de captación relacionada con la superficie de planta a norte. Esta normativa podría contemplar disminuciones de dicha superficie, siempre y cuando se garantizara la capacidad de captación a través de la cubierta, mediante lucernarios orientados, una de las pocas ventajas que tienen las viviendas unifamiliares frente a las colectivas y que no suele estar aprovechada. Todas estas aportaciones constructivas para la mejora de la eficiencia energética son relativas, en relación a las condiciones de agrupación, conformadas para un desarrollo en baja densidad prevaeciente en las regiones de estudio, frente a otras opciones más eficientes.

## Referencias

BUSTAMANTE, W. 2009. *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Santiago de Chile, MINVU División Técnica

de Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética, 216 p.

BUSTAMANTE W.; CEPEDA, R.; MARTÍNEZ, P.; SANTA MARÍA, H. 2004. *Bienestar habitacional: guía de diseño para un hábitat residencial sustentable*. Proyecto FONDEF-CONICYT No. 0011039. Santiago, Universidad de Chile/Instituto de la Vivienda/Universidad Técnica Federico Santa María/Fundación Chile, 23 p.

FITZGERALD, E.; MCNICHOLL, A.; ALCOCK, R.; OWEN LEWIS, J. 2007. *Un Vitruvio ecológico*. Barcelona, Gustavo Gili, 160 p.

GOYCOOLEA INFANTE, Roberto. 2011. Plan Regulador 1960-1980: remembranzas personales en su cincuenta aniversario. *Arquitecturas del Sur*, **38**:24-37.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2011. Demografía de ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/demografia\\_y\\_vitales/demografia/demografia.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/demografia/demografia.php). Consulta en: 18/06/2011.

LUXAN, M.; CELIS F.; DA CASA, F.; ECHEVERRÍA E. 1996. *Arquitectura y clima en Andalucía: manual de diseño*. Sevilla, Junta de Andalucía, 231 p.

ROMERO H. 2008. *Irradiancia solar en territorios de la República de Chile*. Santiago, CNE/PNUD/UTFSM, 248 p.

Submetido: 02/11/2011

Aceito: 12/01/2012

### Flavio Celis Damico

Universidad de Alcalá  
Departamento de Arquitectura  
C. Santa Ursula 8, Alcalá de Henares  
28801, Madrid, España

### Rodrigo Garcia Alvarado

Universidad del Bío Bío  
Avda. Collao 1202, Concepción, Chile

### Maureen Trebilcock Kelly

Universidad del Bío Bío  
Avda. Collao 1202, Concepción, Chile

### Olavo Escorcía Oyola

Universidad Nacional de Colombia  
Escuela de Arquitectura y Urbanismo  
Carrera 30 N° 45-03, Bogotá, Colombia

### Underléa Miotto Bruscato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Av. Paulo Gama, 110  
Porto Alegre, RS, Brasil

### Muriel Diaz

Universidad del Bío Bío  
Avda. Collao 1202, Concepción, Chile