

COMPORTAMIENTO TERMICO DE EDIFICIOS DE DEPARTAMENTOS EN SANTIAGO DE CHILE: SEGMENTACIÓN DE NICHOS EN EL MERCADO INMOBILIARIO PRIVADO A PARTIR DE LAS EXIGENCIAS DE LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA NACIONAL

Felipe Encinas Pino

Estudiante de doctorado
encinas.felipe@gmail.com

André De Herde

Professor Université Catholique de Louvain. Director Unidad de Investigación Architecture et Climat
andre.deherde@uclouvain.be

Architecture et Climat. Université Catholique de Louvain
Place de Levant, 1. 1348 Louvain-la-Neuve, Bélgica
Teléfono: + 32 10 47 91 52
Fax: + 32 10 47 21 50

Carlos Marmolejo Duarte

Profesor Lector Universidad Politécnica de Cataluña
carlos.marmolejo@upc.edu

Carlos Aguirre Nuñez

Estudiante de doctorado
carlos.aguirre@upc.edu

Centro de Política de Suelo y Valoraciones
Universidad Politécnica de Cataluña
Av. Diagonal 649, 4ª Planta, Barcelona, 08028, España

Palabras clave: Reglamentación térmica, nichos de mercado, conglomerados, sobrecalentamiento
Key words: Thermal regulation, market niches, clusters, overheating

Resumen

Santiago, capital de la República de Chile, se sitúa en el valle central del país en los 33° 27' de latitud sur y 70° 42' de longitud oeste, presentando un clima templado cálido con una estación seca prolongada de 7 a 8 meses de duración. La temperatura media anual es de 12,2°C y la oscilación térmica es considerable: hay casi 13°C de diferencia en la temperatura media entre el mes más cálido (enero) y el más frío (julio) y la diferencia entre las medias de las temperaturas máximas y mínimas para todos los meses del año fluctúan entre 10 y 16°C.

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE), el 37,4% de los permisos de edificación de viviendas nuevas del 2006, declara que el ladrillo es su material predominante de muros, mientras que otro 36,0% está asociado con el hormigón armado. Dada la generalmente nula presencia de aislación térmica en estos sistemas constructivos y su alta inercia térmica de absorción, se podría esperar para Santiago un comportamiento térmico - en términos de confort - más bien desfavorable en invierno y favorable en verano. Sin embargo, estudios recientes presentan un escenario opuesto, dado que un gran porcentaje de usuarios encuestados acusa un alto nivel de sobrecalentamiento en sus viviendas. Esta aparente contradicción podría entenderse desde las limitaciones propias de esta base datos del INE del año 2006, puesto que por ejemplo, no refleja el impacto de la implementación de la 2ª etapa de la Reglamentación Térmica nacional. Esta regulación, en vigencia desde enero de 2007, establece valores máximos de transmitancia térmica admisible para los diversos elementos de la envolvente de una vivienda. A partir del valor exigido en muros en Santiago (1,9 W/m²K), los nuevos edificios de departamentos han tenido que necesariamente incorporar al menos 10 mm de aislante térmico en su envolvente vertical, modificando su comportamiento térmico tanto en invierno como en verano.

Este artículo propone la simulación del desempeño energético y condiciones de confort térmico para invierno y verano, de edificios de departamentos en Santiago para estratos socioeconómicos medios y medios altos, con el objetivo de establecer los impactos de las soluciones constructivas adoptadas en estos. Estas simulaciones numéricas se realizarán sobre tipologías de productos de vivienda ofertadas en el mercado privado durante el periodo 2006-2007, incorporando su materialidad y los datos de mercado, precios y atributos inmobiliarios, según datos de oferta del Portalinmobiliario.com. Estas tipologías de vivienda se traducirán en nichos, los cuales serán determinados a partir de la generación de grupos homogéneos de viviendas mediante a la técnica de generación de conglomerados, sobre las variables de cada producto inmobiliario. Estos grupos de viviendas se encontrarán en los mismos sub mercados inmobiliarios, evaluándose diferentes combinaciones de atributos asociados a las materialidades. Las simulaciones numéricas del comportamiento térmico en invierno y en verano, se realizan mediante el software de evaluación de desempeño energético TAS, mediante un sistema dinámico que calcula las condiciones de las viviendas en régimen horario, evaluando las condiciones de confort térmico.

Se espera probar que las soluciones técnico-arquitectónicas actuales, y su interpretación de la Reglamentación Térmica vigente, generan desfavorables condiciones de confort independiente del nicho de mercado donde estén compitiendo. Estas conclusiones permitirán establecer desafíos y oportunidades para el mercado inmobiliario privado, tanto en términos de tecnología de la construcción, como en el diseño arquitectónico, permitiendo el desarrollo de nuevas propuestas para integrar las exigencias de la Reglamentación Térmica nacional a la realidad del mercado de vivienda privada.

Resumen

Santiago de Chile (33°27'S and 70°42'W), capital city of the country, is placed in the central valley. It has a Mediterranean climate with a long dry season (between 7 and 8 months). Its annual average temperature is 12,2°C, whereas the thermal oscillation is considerable: there is almost 13°C between January and July average temperatures (hottest and coldest months, respectively) and the difference between maximum and minimum temperatures ranges between 10°C and 16°C during all the year.

According to the National Statistics Institute, 37.4% and 36.0% of new housing during 2006 were built using mainly brick masonry and concrete in their walls, respectively. In both cases, thermal insulation was not generally considered. On the contrary for the heating period, a favorable thermal performance in summer should be expected (low thermal insulation in combination to high thermal mass). However, some recent studies show the completely opposite scenario, since an important percentage of users declare overheating in their own dwellings. This apparent contradiction could be understood from a database limitation, due to these official data do not reflect the impact of the current thermal regulation, which is in force since January 2007. Notwithstanding the required standards are weak in comparison to the international state-of-art (e.g. 1,9 W/m²K as maximum U-value for walls in Santiago), nowadays apartment buildings in Santiago are including at least 20 mm of thermal insulation in their walls to give compliance to the code.

This paper proposes a series of dynamic thermal simulations to apartment buildings in Santiago, with the aim of establish the impact of different constructive solutions by means of thermal behavior, both in winter and summer. These digital models are statistically based on the typologies offered in the private real estate market during both periods 2001-2002 and 2006-2007, according to a database from Portalinmobiliario.com. These were determined using a multivariate analysis of their attributes – producing homogeneous market niches - through the hierarchical clustering technique. These homogeneous niches were identified in the real estate private submarkets, assessing different attributes. Thermal simulations were made using the TAS software, a dynamic-state digital tool.

According to the results, the implementation of the thermal regulation – intended mainly to reduce heating consumption – have produced unfavorable comfort conditions in all the studied market niches, in comparison with the business as usual scenario. These conclusions allow establishing challenges and opportunities for the private real estate market, in order to integrate new thermal regulations with the private market reality.

1. Introducción

Desde ya hace casi una década, Chile ha tratado de establecer políticas públicas de mejoramiento de las condiciones materiales para el acondicionamiento térmico de viviendas. En gran medida siguiendo el ejemplo de países desarrollados, los cuales desde hace más de 30 años han venido estableciendo progresivas regulaciones sobre el comportamiento térmico y desempeño energético de viviendas y edificios, se han realizado dos modificaciones sucesivas a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, constituyendo las denominadas 1° y 2° Etapas de la Reglamentación Térmica. Estos requisitos, obligatorios para todas las viviendas nuevas a partir de su entrada en vigencia, están contenidos en el artículo 4.1.10 de dicho reglamento y establecen exigencias para los complejos de techumbre en una primera etapa, para luego continuar con muros, pisos ventilados y ventanas. Estas exigencias - a diferencia de las actuales regulaciones en países desarrollados, basados en criterios de desempeño - claramente apuntan a una aproximación prescriptiva. Esto, debido a que, a excepción de las ventanas, están definidas en función de la transmitancia térmica $[W/m^2K]$ máxima admisible para los distintos elementos constructivos. Sin embargo, el programa de Reglamentación Térmica, definido por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el año 1994, contempla una tercera etapa aún no implementada, que considera la certificación energéticamente sobre el comportamiento global (IC, 2006).

La implementación de la Reglamentación Térmica en sus dos primeras etapas, en los años 2000 y 2006 respectivamente, ha significado un paso sustantivo en la toma de conciencia de los actores del mercado inmobiliario con respecto a la eficiencia energética en la vivienda. En este sentido, los desarrolladores, han aceptado y cumplido la normativa sin mayor resistencia, y los consumidores han ido adquiriendo de poco las herramientas de discriminación ante el consumo energético. Sin embargo, ante las condiciones generales del mercado, y al contrario de lo que pensaban muchos de los impulsores y detractores de esta medida, su impacto en los precios finales de la vivienda, especialmente en los departamentos, no ha sufrido variaciones.

Durante el estudio de los impactos de la 2° Etapa de la Reglamentación Térmica, se presentaron distintos acercamientos a la problemática de su definición y cuantificación. Por un lado, se definieron las tipologías edificatorias para todo el país asociadas a cada una de las zonas climáticas definidas por la reglamentación, para posteriormente calcular el impacto, en términos de ahorro de costos sociales, de las mejoras energéticas de las estas tipologías (DECON UC, 2000). Si bien las tipologías identificadas por este estudio representan un porcentaje importante de las viviendas a nivel nacional no se incorporó en ningún momento, los mercados inmobiliarios sobre los cuales se estaba impactando. Además, las simulaciones de los comportamientos térmicos se realizaron en condiciones ideales de ubicación, altura y orientación, por lo cual, muchos de sus resultados, solo representan las mejoras para estos supuestos iniciales.

Por tanto, años después del debate de la 2° Etapa de la Reglamentación Térmica, se establece este estudio que busca identificar grupo homogéneos de productos inmobiliarios a modo de nichos de mercado, para viviendas en altura en Santiago de Chile. Se considerará una primera aproximación a los mercados homogéneos de productos mediante el uso de una técnica de análisis de conglomerados en dos etapas, como forma de identificar grupos homogéneos de viviendas, para luego establecer su comportamiento térmico en función de un proceso de simulación energética en régimen dinámico.

2. Discusión bibliográfica

2.1 *Confort térmico y marco normativo chileno*

Santiago, capital de la República de Chile, se sitúa en el valle central del país en los $33^{\circ} 27'$ de latitud sur y $70^{\circ} 42'$ de longitud oeste, presentando un clima templado cálido con una estación seca prolongada de 7 a 8 meses de duración. La temperatura media anual es de $12,2^{\circ}C$ y la oscilación térmica es considerable: hay casi $13^{\circ}C$ de diferencia en la temperatura media entre el mes más cálido (enero) y el más frío (julio) y la diferencia entre las medias de las temperaturas máximas y mínimas para todos los meses del año fluctúan entre 10 y $16^{\circ}C$.

Estas características determinan un clima típicamente mediterráneo con un invierno frío y bien definido y una estación de verano prolongada y generalmente con altas temperaturas.

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, el 37,4% de los permisos de edificación de viviendas nuevas del 2006, declara que el ladrillo es su material predominante de muros, mientras que otro 36,0% está asociado con el hormigón armado (INE, 2007). Dada la generalmente nula presencia de aislación térmica en estos sistemas constructivos (puesto que la 2ª Etapa de la Reglamentación y su exigencia de muros entró en vigencia el 4 de enero del 2007) y su alta inercia térmica de absorción, se podría esperar para Santiago – con sus características climáticas ya descritas - un comportamiento térmico más bien desfavorable en invierno y favorable en verano, en términos de confort. Sin embargo, un estudio reciente encargado por el Proyecto de Fomento a la Eficiencia Energética (CNE/GTZ) y llevado a cabo por el Instituto de la Construcción presenta el escenario opuesto, dado que un gran porcentaje de las viviendas evaluadas (medidas) en Santiago acusa un alto nivel de sobrecalentamiento (IC, 2008). Asimismo, los propios usuarios declaran un muy desfavorable confort de verano, ya que un 63% de los encuestados sitúa a su propia vivienda entre los rangos de 5, 6 y 7 (de 1 a 7, donde 1 es muy frío y 7 es muy caluroso) y con un 12,8% que evalúa su casa con la nota máxima de calor.

Esta aparente contradicción podría entenderse desde las limitaciones propias de esta base de datos del INE del año 2006 (que representa en estos momentos la información disponible más reciente), puesto que, por ejemplo, no refleja el impacto de la implementación de la 2ª etapa de la Reglamentación Térmica, ni entrega información desagregada con respecto a muros de albañilería o de hormigón armado que si incorporen aislación térmica.

La mayoría de las comunas del Gran Santiago, normativamente hablando, están asociadas a la zona 3 en la Reglamentación Térmica. En la práctica todo el país está dividido en 7 zonas térmicas, de acuerdo a una lógica exclusivamente referida a grados-día de calefacción. Para la zona 3, la regulación establece transmitancias térmicas máximas admisibles de 0,47 W/m²K, 1,90 W/m²K y 0,70 W/m²K para techos, muros y pisos ventilados, respectivamente.

En la práctica, la exigencia de muros para Santiago – la más resistida por parte de la industria – introduce modificaciones de manera más significativa para el mercado de departamentos en comparación con el de casas, con respecto al escenario anterior. Para cumplir con el valor de 1,9 W/m²K en la construcción de casas, se ha adoptado la costumbre de incorporar una capa de estuco de menor conductividad térmica que el habitual (comercialmente conocido como “estuco térmico”), con lo cual se puede seguir edificando con muros de ladrillo sin aislación térmica. En el caso de los departamentos, la situación es algo distinta, puesto que dada la alta conductividad térmica del hormigón armado utilizado en los muros por razones estructurales, se ha tenido que necesariamente incorporar al menos 10 mm de aislante térmico. Este pequeño hecho, sin embargo puede modificar el comportamiento térmico de estas unidades de vivienda tanto en invierno como en verano. En qué medida se produce esta modificación y como se relaciona con la segmentación del mercado inmobiliario será también asunto de este artículo.

2.2 Segmentación en el mercado inmobiliario de departamentos del Gran Santiago

Santiago, como capital nacional, concentra el 40% de la población del país (con 5.638.820 habitantes según proyecciones a partir del CENSO 2002) (INE, 2005) y el 65% de la oferta inmobiliaria privada, según datos de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC, 2008). El mercado inmobiliario en el Gran Santiago, presenta dos grandes tipos de desarrollos, la primera, la edificación en altura, propia de las zonas interiores al anillo Américo Vespucio y las segunda caracterizadas por una conformación de villas y viviendas en extensión ubicadas principalmente en la zona exterior de este anillo. Varios estudios han abordado la lógica espacial de estos conjuntos, a nivel de la región metropolitana de Santiago (Hidalgo y otros, 2008), (Arenas, 2007) y a nivel pericentral (Aguirre & Marchant, 2007), (Departamento de Estudios Cámara Chilena de la Construcción, 2007), pero en ninguno se ha hecho énfasis en el desarrollo de un método que permita comparar los productos de este mercado privado de vivienda. En ese sentido, algunos estudios del mercado de vivienda en Santiago, (DECON UC-Portalinmobiliario.com, 2004-2009), han avanzado en la delimitación geográfica de los mercados de vivienda, sin embargo, aún se está lejos

de poder identificarlos en relación a una aproximación que tenga relación más con el producto-precio, que con lo estrictamente localizacional. En ese sentido, la literatura existente presenta indicios claves acerca de que el producto se modifica para mantener los esquemas macro de precios (McDonals & McMillen, 2007), principalmente por el hecho de que la vivienda es un bien complejo (Lira, 1977), y donde la ubicación juega un rol preponderante (Palmucci, 2005), (Aguirre, 2008). Resulta interesante recordar que los precios de las viviendas en mercados donde existe un peso importante de los incentivos a la demanda (subsídios y DFL2), están en su gran mayoría agrupados en segmentos propios a los rangos de este subsidio (de 1000 UF, 2250 € y de las 2000 UF, 5500 €). En ese sentido, en las zonas con menos demanda existe una marcada tendencia a que estos rangos se reflejen en la demanda, mientras que, en las zonas con mayor demanda, estos se superen, pero sin romper la lógica de estratificación social de los residentes actuales. (Aguirre & Marchant, 2007)

Para el estudio de la 2ª Etapa de la Reglamentación Térmica se estableció una separación de tipologías de vivienda a nivel nacional, obviando los aspectos claves del mercado inmobiliario en esas zonas y para esos productos y centrándose en la delimitación en base solamente a las características generales de la materialidad de las viviendas (DECON UC, 2000). Es por ello, que en la actualidad, los departamentos o viviendas en altura, se presentan solamente en una de estas tipologías (de 15), a pesar de representar varios nichos de mercados.

Para identificar estos nichos de mercado, existen varias técnicas en la literatura del tema (Santander & Aguirre, 2000), entre ellas la delimitación de productos en base a criterios de la homogeneidad de productos, en especial racimos propios de la interacción entre varias variables. Este análisis de conglomerados o racimos, tiene por objetivo el encontrar grupos homogéneos de individuos basando en las características que poseen (Hair & Anderson, 2005). Esta técnica de taxonomía numérica puede ser desarrollada en un procedimiento denominado de dos fases (Perez, 2005), cuando se cuentan con variables de categoría, como los atributos inmobiliarios; y continuas, como las superficies, precios, etc.

En este primer acercamiento, se obtendrán grupos de departamentos en oferta, de los cuales se generará un departamento "robot", construido en base a las variables involucradas siendo el más representativo de cada uno de los conglomerados. Posteriormente serán simulados con y sin las condiciones técnicas de la Reglamentación térmica con un acercamiento más detallado que las tipologías de viviendas base, evaluándose el comportamiento térmico de los conjuntos.

3. Definición de nichos de mercado a partir de un modelo de conglomerados

3.1 Resultados de aplicación de modelo de conglomerados

Gracias a la base de datos de proyectos y departamentos de portalinmobiliario.com, se conto con 25.711 departamentos en oferta para el periodo 2003 al 2008, con sus atributos inmobiliarios más destacados, aunque no estandarizados¹. Esa base de datos se sometió a un proceso de estandarización de la información para posteriormente realizar un análisis de conglomerados.

En una primera instancia se observan los datos de las Tablas 1 y 2 (correspondientes a los valores medios de los departamentos en oferta para los períodos 2003-2006 y 2007-2009, respectivamente), donde no se perciben diferencias significativas entre los ofertados antes y después de implementación de la 2ª Etapa de la Reglamentación Térmica. Con ello, se comprueba que no existió un cambio significativo de los valores y productos con la incorporación de esta normativa, traduciéndose solamente a un cambio en las condiciones de transmitancia de los muros y absorbiendo en el margen de venta el aumento en el costo de estas mejoras. En ese sentido, y tal como se esperaba, los conglomerados resultantes no difieren de forma significativa, por lo cual, se opto por hacer un análisis por etapas, para toda la base de datos.

¹ Por ejemplo, una situación interesante de análisis sería la incorporación de los atributos de calidad de ventanas - si son con doble vidrio o vidrio simple - información que no estaba disponible para la totalidad de la muestra, por lo cual en esta primera aproximación se descartó.

Tabla 1. Valores medios de los departamentos en oferta para el período 2003-2006

Número de casos	16.813			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Superficie Útil	17,81	279,00	63,03	27,90
Superficie Terrazas	0,00	155,26	7,72	7,70
Superficie Total	17,81	321,50	70,75	33,11
Altura (Numero planta)	1	29	8,85	5,02
Número de habitaciones	1	5	2,17	0,92
Número de baños	1	5	1,78	0,69
Precio UF	556	16.240	2.591	1.512
Precio UF/m2	16,64	114,21	40,33	10,59

	Mínimo	Máximo	Moda
Hall central	1	4	2
Seguridad	1	3	1
Loft o dúplex	0	1	1
Áreas verdes	0	1	0
Estacionamientos anexos	0	1	0
Nivel terminaciones cocina	1	4	2
Habitaciones de servicio	0	3	0
Calefacción central	0	1	1
Loggia	0	1	0
Pavimento Piso flotante	0	1	1
Pavimento Alfombra	0	1	1
Nivel de terminaciones	1	4	3
Estacionamientos y bodegas	0	1	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Valores medios de los departamentos en oferta para el período 2007-2009

Número de casos	8.898			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Superficie Útil	18,41	309,22	59,44	28,73
Superficie Terrazas	0,00	181,39	6,79	8,36
Superficie Total	18,41	354,16	66,23	35,21
Altura (Numero planta)	1	26	9,03	6,09
Número de habitaciones	1	5	2,25	0,85
Número de baños	1	5	1,73	0,70
Precio UF	567	22.500	2.464	1.773
Precio UF/m2	15,23	90,93	39,79	9,95

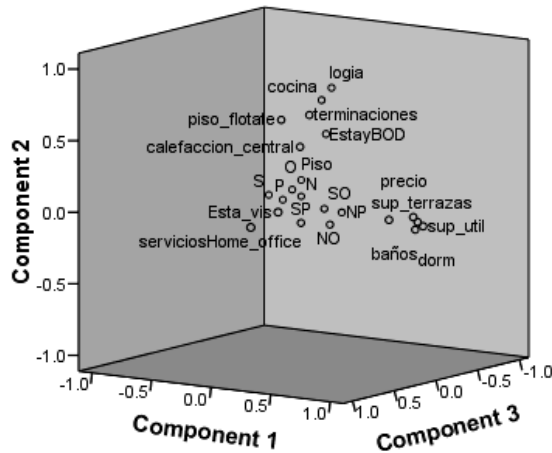
	Mínimo	Máximo	Moda
Hall central	1	4	2
Seguridad	1	3	2
Loft o dúplex	0	1	0
Áreas verdes	0	1	1
Estacionamientos anexos	0	1	0
Nivel terminaciones cocina	1	4	2
Habitaciones de servicio	0	4	0
Calefacción central	0	1	1
Loggia	0	1	0
Pavimento Piso flotante	0	1	1
Pavimento Alfombra	0	1	1
Nivel de terminaciones	1	4	3
Estacionamientos y bodegas	0	1	0

Fuente: Elaboración propia

3.2 Definición de nichos de mercado para departamentos en el Gran Santiago

Para empezar se realiza un análisis factorial de componentes principales, reduciendo las variables a tres componentes de una matriz rotada por Varimax, donde desde ya se puede constatar la presencia de los atributos, como la orientación, las terminaciones, etc. como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. Componentes de la base de departamentos



Fuente: Elaboración propia

Ahora, dada la gran cantidad de variables de categoría y lo amplio de la base de datos, se procede a desarrollar el análisis de conglomerados por dos etapas². Tal como plantea la literatura, se deja libre el número de conglomerados, obteniéndose el mayor número y cambio del criterio bayesiano de Schwarz, en cuatro grupos.

Al segmentar el archivo en dos grupos, antes y después de 2006, el número y características de los conglomerados no varía. Las distribuciones finales de los conglomerados se muestran en la Tabla 3, donde se observa que cada grupo ha quedado entre un 20% y un 35% del total de la muestra.

Tabla 3. Cantidad de departamentos en cada conglomerado

Conglomerado	Cantidad de departamentos	% del combinado	% del total
I	4.975	19,3%	19,3%
II	4.255	16,5%	16,5%
III	7.563	29,4%	29,4%
IV	8.918	34,7%	34,7%
Total	25.711	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

Con este modelo, se obtienen 4 grupos de oferta inmobiliaria, para cada uno de los cuales se establecen los centroides, puntos medios de cada conglomerado para las variables continuas. Con estos, se representa un departamento ficticio “robot”, que sirve de referencia para este grupo.

Este robot nos dan la idea de cómo sería un departamento que sea la media de todos los pertenecientes a ese conglomerado, como se observa en la Tabla 4.

² Se optó por este modelo en desmedro del clúster jerárquico, tanto por razones de la capacidad computacional que restringía el cálculo con una base de datos tan grande, como por los mejores resultados obtenidos en una prueba y comparación entre K medias de los dos métodos.

Tabla 4. Centroides de los conglomerados

Conglomerado	Superficie Útil (m ²)		Superficie Terrazas (m ²)		Precio (UF) 1UF = 27,8€	
	Media	Desviación Std.	Media	Desviación Std.	Media	Desviación Std.
I	55,07	19,36	6,24	5,23	2272,19	1040,06
II	104,09	32,03	16,63	13,11	4958,65	2112,43
III	49,22	16,16	4,96	3,86	1961,70	812,70
IV	56,01	18,23	5,68	4,77	2045,63	896,10
Total	61,78	28,23	7,39	7,94	2546,86	1607,96

Fuente: Elaboración propia

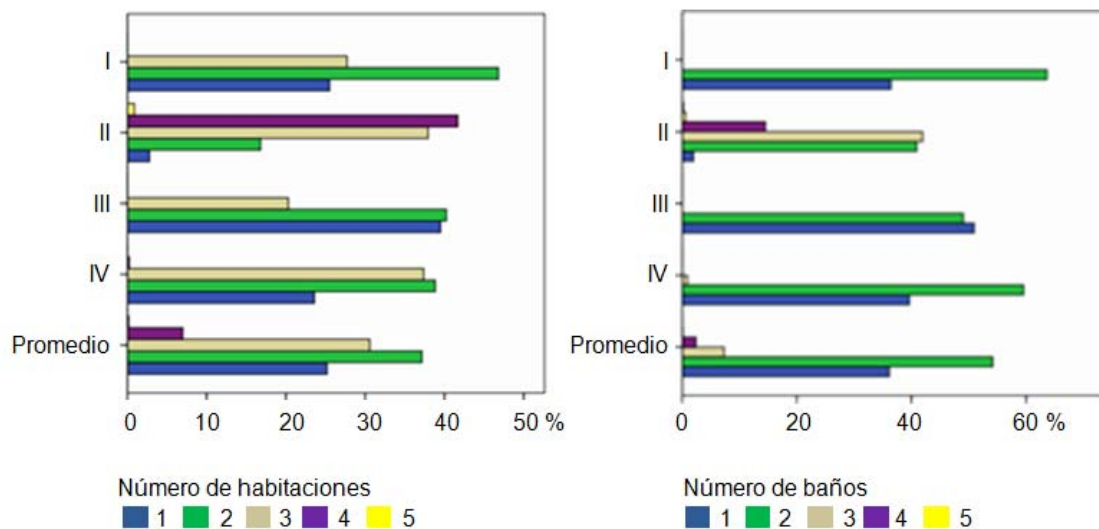
Con las variables ordinales, se observa en la Figura 2, que el conglomerado II está representando a los departamentos más grandes y de mayor precio y con programas de mayor número de habitaciones y baños. Lo contrario del conglomerado IV que agrupa a los departamentos de menor precio y menor superficie.

Sin embargo, para determinar los departamentos a utilizar para la simulación dinámica de sus condiciones térmicas, se estableció la construcción de un modelo de departamento, con las medias robustas de cada uno de las variables continuas, y las de mayor frecuencia de las variables ordinales y nominales, que se muestran en la Tabla 5. Con esto, se representan cuatro departamentos, coherentes con estos grupos y con su orientación predominante.

Adicionalmente, dado que el conglomerado IV presentaba dos orientaciones igualmente importantes, se agregó un quinto modelo para la simulación energétimica.

La Figura 3 presenta la configuración programática y la orientación de los departamentos utilizados como representativos para cada conglomerado.

Figura 2. Porcentaje de presencia del número de habitaciones y baños según conglomerado



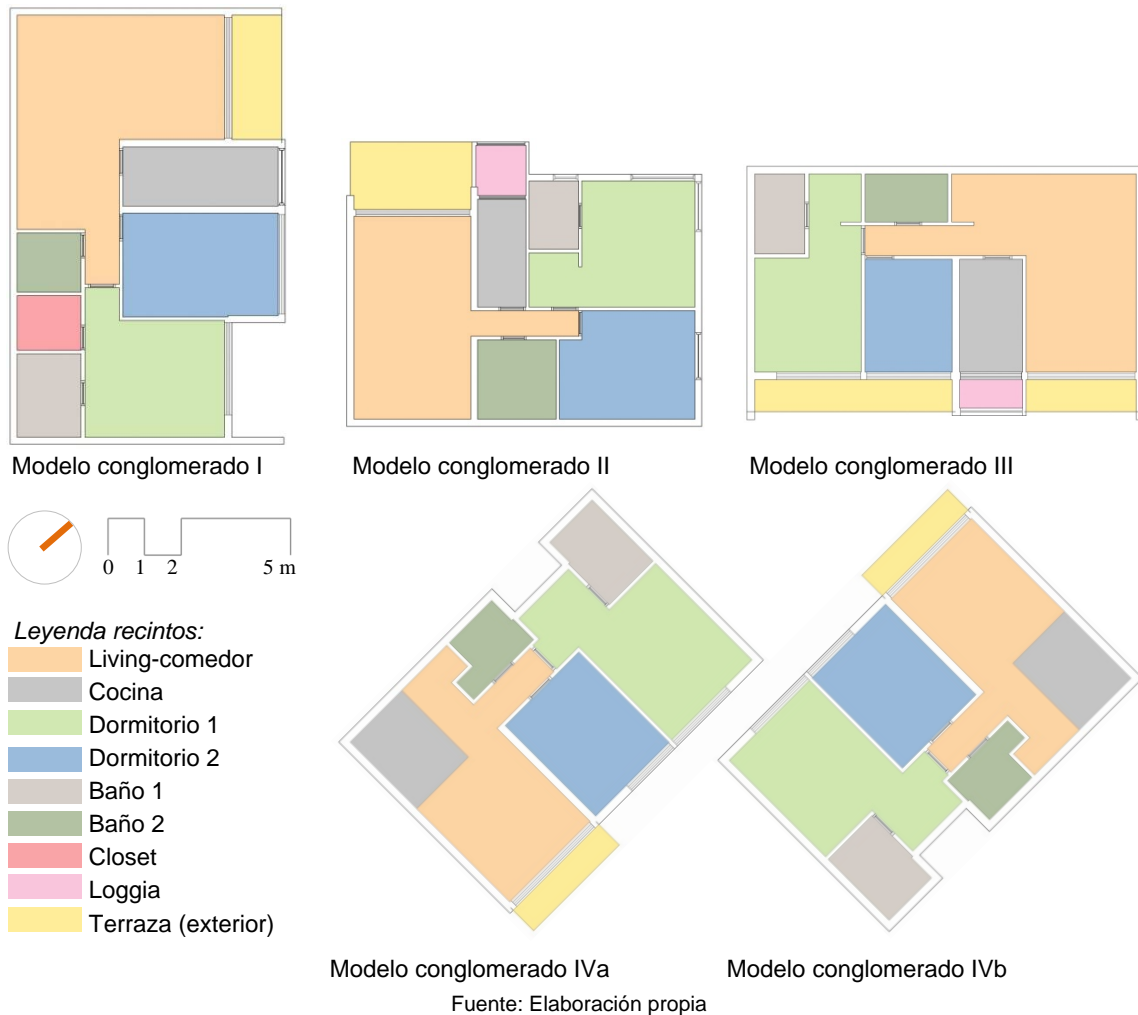
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Características de departamentos representativos de cada conglomerado para simulaciones de comportamiento térmico. Se destaca en color la(s) orientación(es) escogida(s) para cada conglomerado

	Conglomerado I					Conglomerado II					Conglomerado III					Conglomerado IV				
	Media	DS	Min	Max		Media	DS	Min	Max		Media	DS	Min	Max		Media	DS	Min	Max	
Superficie Útil	68,51	28,6	22	267		77,17	38,15	20	309		72,57	25,36	26	271		53,97	22,75	18	279	
Superficie Terrazas	8,41	8,78		155		11,8	11,34		178		9,26	8,78		181		5,73	5,73		145	
Superficie Total	76,9	34,9	22	339		89	46,3	23	354		81,8	31	28	309		59,7	26,6	18	279	
Planta	8	5	1	29		7	5	1	26		8	5	1	26		9	6	1	29	
Número de habitaciones	2	1	1	5		2	1	1	5		2	1	1	5		2	1	1	5	
Numero de baños	2	1	1	5		2	1	1	6		2	1	1	5		2	1	1	4	
Precio UF	2828	1700	649	16240		3604	2342	700	22500		3103	1358	780	10450		2117	1187	556	14900	
Precio UF/M2	39,7	10,5	15	89		45,6	10,9	20	91		42,4	9,5	19	82		38,9	9,9	16	114	
Hall central	2	1	1	4		2	1	1	4		2	1	1	4		2	1	1	4	
Seguridad	1	0	1	2		1	0	1	3		1	0	1	3		1	-	1	1	
Arq.no típica	1	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1	
Áreas ver des	0	0	-	1		1	0	-	1		1	0	-	1		1	0	-	1	
Estacionamientos anexos	0	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1	
Nivel terminaciones cocina	2	1	1	4		2	1	1	4		2	1	1	3		2	1	1	4	
Habitaciones anexas	0	0	-	1		1	1	-	3		1	1	-	4		0	0	-	1	
Calefacción central	1	0	-	1		1	0	-	1		1	0	-	1		1	0	-	1	
Loggia	0	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1		1	0	-	1	
Pavimento Piso flotante	1	0	-	1		1	0	-	1		1	0	-	1		1	0	-	1	
Pavimento Alfombra	1	-	1	1		1	1	-	1		1	1	-	1		1	1	-	1	
Nivel de terminaciones	2	1	1	4		3	1	1	4		3	1	1	4		3	1	1	4	
Estacionamientos y bodegas	0	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1		0	0	-	1	
Orientación	Conglomerado I					Conglomerado II					Conglomerado III					Conglomerado IV				
Norte	15%					12%					2%					18%				
Nororiente	24%					16%					3%					6%				
Oriente	7%					7%					1%					22%				
Suroriente	8%					0%					82%					0%				
Sur	9%					10%					2%					18%				
Surponiente	18%					12%					3%					6%				
Poniente	11%					6%					4%					22%				
Norponiente	8%					36%					3%					7%				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3. Distribución programática y orientación de los 5 modelos de conglomerados utilizados para las simulaciones. Vista en planta tomada de los modelos en software TAS



4. Simulaciones de desempeño energético para tipologías edificatorias a partir de nichos de mercado

4.1 Definición de modelos para simulaciones de desempeño energético

Como ya se ha señalado, los cinco modelos arquitectónicos correspondientes a los cuatro conglomerados propuestos, fueron sometidos a simulaciones numéricas para predecir su comportamiento térmico. Esto se realizó por medio del software británico de modelamiento térmico en régimen dinámico, TAS (www.edsl.net), ampliamente utilizado en Europa para consultorías energéticas especializadas.

La interfaz del software TAS comprende una serie de módulos, dentro de los cuales se incluyen un modelador tridimensional (donde se ingresa la geometría del modelo), un módulo para ingreso de los datos de entrada de la simulación y control de los sistemas, otro para la manipulación de los datos de salida e incluso un módulo bidimensional CFD (computational fluid dynamics) para la simulación dinámica de fluidos.

Los 5 modelos de departamentos fueron evaluados por medio de este software, utilizando una lógica de zonas térmicas, la cual identifica el desempeño energotérmico particular de cada zona y al mismo tiempo las transferencias de calor entre estas.

En estos 5 modelos, cada uno de los distintos recintos fue homologado a zonas térmicas (Figura 3), con el objeto de identificar sus comportamientos particulares.

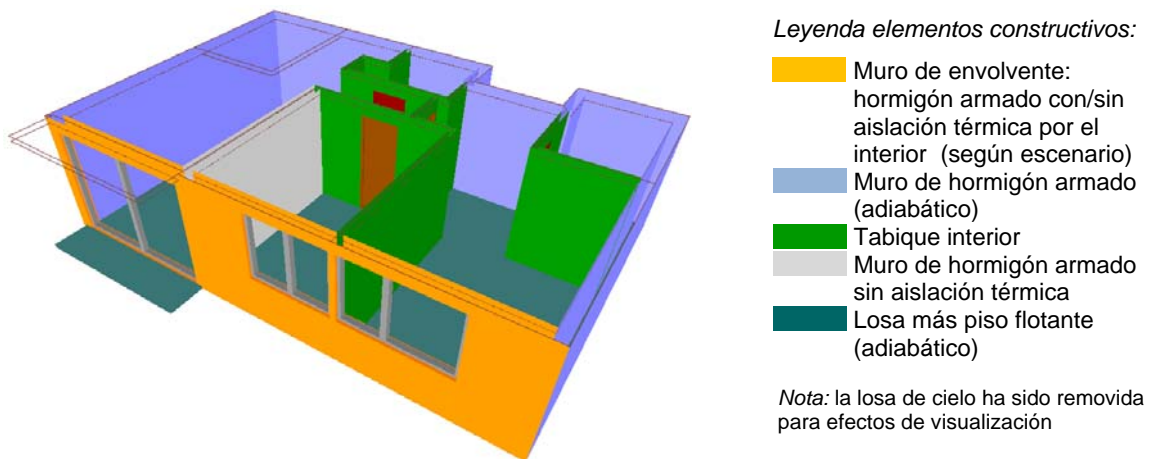
Asimismo a cada uno de los modelos, les fue asignado los siguientes parámetros de entrada:

- *Clima*: 30 años de observaciones estación meteorológica de Pudahuel (período 1960-1990). Información horaria para datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar directa y difusa, nubosidad y dirección e intensidad del viento.
- *Régimen de ventilación*: 1 ACH constante durante todo el año.
- *Rango de confort*: 20 – 26°C.
- *Ganancias internas*: 90 Wh/m² día en total, considerando ocupación, iluminación y equipos.
- *Elementos constructivos*: Definidos para cada elemento constructivo de los departamentos y caracterizados en función de sus propiedades físicas.

Adicionalmente, para los fines del estudio se consideraron tres escenarios posibles de materiales de envoltente, en función de la Reglamentación Térmica (uno previo a la entrada en vigencia a la 2° Etapa, otro posterior y otro también posterior que incluye el mejoramiento de ventanas).

La Figura 4 presenta, a modo de ejemplo, la aplicación de estos elementos constructivos en el modelo geométrico 3D del conglomerado IV, realizado por medio del software TAS. Posteriormente, la Tabla 6 presenta la descripción y el detalle de las propiedades físicas para cada uno de estos elementos constructivos en los escenarios propuestos.

Figura 4. Visualización 3D de modelo geométrico del conglomerado IV realizado por medio del software TAS. Se individualizan los diferentes elementos constructivos



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 demuestra que para todos los casos de modelos de conglomerados estudiados, el impacto en términos porcentuales en la reducción de los grados-hora de calefacción por las mejoras de los escenarios post-RT y post-RT+DVH, es menor que el aumento de los grados de sobrecalentamiento.

Es así como mientras que en el primer caso se logran reducciones de entre 4 y 17% y 23 y 36% en comparación con los escenarios post-RT y post-RT+DVH, en términos de sobrecalentamiento los grados-hora del escenario inicial pre-RT llegan a duplicarse cuando se introduce el doble vidriado.

Tabla 6. Descripción de los elementos constructivos aplicados en los modelos para las simulaciones de comportamiento térmico en los 3 escenarios propuestos

Escenario	Elementos constructivos					
	Nombre	Componentes				Transmitancia térmica ¹ [W/m ² K]
		Material ²	Espesor [mm]	Densidad [kg/m ³]	Conductividad térmica [W/mK]	
(común a todos)	Muro de hormigón armado	Hormigón armado	200	2400	1,63	3,41
	Tabique interior	Yeso cartón	10	700	0,26	1,51
		Cámara de aire	70	---	---	
		Poliestireno expandido	10	10	0,043	
		Yeso cartón	10	700	0,26	
	Muro de hormigón armado (adiabático) ³	Hormigón armado	200	2400	1,63	---
Losa mas piso flotante (adiabático) ⁴	Tablero de madera	5	600	0,103	---	
	Hormigón armado	150	2400	1,63		
Previo 2º Etapa Reglamentación Térmica (pre-RT)	Muro de hormigón armado	Hormigón armado	200	2400	1,63	3,41
	Ventana de vidrioado simple					5,8
Posterior 2º Etapa Reglamentación Térmica (post-RT)	Muro de hormigón armado con aislación térmica	Yeso cartón	10	700	0,26	1,25
		Poliestireno expandido	20	10	0,043	
		Hormigón armado	200	2400	1,63	
	Ventana de vidrio simple					5,79
Posterior 2º Etapa Reglamentación Térmica + doble vidrioado (post-RT + DVH)	Muro de hormigón armado con aislación térmica	Yeso cartón	10	700	0,26	1,25
		Poliestireno expandido	20	10	0,043	
		Hormigón armado	200	2400	1,63	
	Ventana de doble vidrioado hermético (DVH)					2,87

³ Calculadas según las normas ISO 6946 y EN 673 para elementos opacos y vidrioados respectivamente

⁴ Materiales ordenados de interior a exterior

⁵ Elemento adiabáticos (no hay transferencia de calor entre interior y exterior)

⁶ Ibid

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Sistematización de los resultados de simulaciones

La Tabla 7 presenta los resultados de las simulaciones de comportamiento térmico realizadas por medio del software TAS, para los 5 modelos de conglomerados y los 3 escenarios de materiales de envolvente, definidos con anterioridad. Dichos resultados están expresados en términos de grados-hora bajo el límite de confort de 20°C (para calefacción) y grados-hora de sobrecalentamiento sobre 26°C.

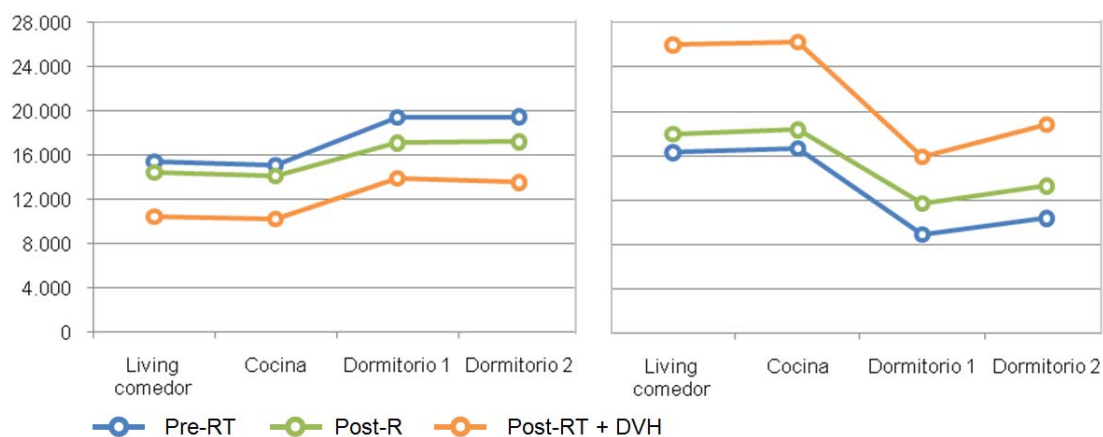
Para el cálculo de estos resultados generales se consideraron los recintos de living-comedor, cocina, dormitorio 1 y dormitorio 2 en cada modelo de departamento "robot". Se optó deliberadamente por ocupar estos indicadores de confort en vez de las muchas veces habituales demandas de calefacción y enfriamiento, por el hecho de que objetivo declarado de la Reglamentación pone el acento en el confort térmico por sobre la reducción de los consumos energéticos. Se puede señalar además que actualmente no existe en el país un estándar oficial de referencia para las demandas de climatización, lo que dificulta poder recomendar o incluso comparar un cierto desempeño energético.

Tabla 7. Resultados generales de simulaciones de comportamiento térmico en los 3 escenarios propuestos

Modelos de conglomerados	Orientación	Escenarios	Bajo límite de confort de 20°C (calefacción)		Sobre límite de confort de 26°C (sobrecalentamiento)	
			Grados-hora anuales	% respecto a Pre-RT	Grados-hora anuales	% respecto a Pre-RT
I	NE	Pre-RT	63.971,6	---	23.346,8	---
		Post-RT	52.853,3	83%	31.694,3	136%
		Post-RT + DVH	41.190,6	64%	47.474,7	203%
II	NW	Pre-RT	73.008,1	---	17.948,1	---
		Post-RT	63.676,7	87%	24.402,3	136%
		Post-RT + DVH	48.925,4	67%	35.419,8	197%
III	SE	Pre-RT	90.513,0	---	20.569,2	---
		Post-RT	86.859,7	96%	22.744,3	111%
		Post-RT + DVH	69.431,3	77%	37.171,1	181%
IVa	E	Pre-RT	80.430,5	---	30.459,6	---
		Post-RT	73.769,2	92%	37.418,1	123%
		Post-RT + DVH	58.808,7	73%	57.351,4	188%
IVb	W	Pre-RT	69.515,1	---	52.188,0	---
		Post-RT	62.971,8	91%	61.233,2	117%
		Post-RT + DVH	48.263,4	69%	87.009,3	167%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5. Grados-hora anuales bajo límite de confort de 20°C (izquierda) y de sobrecalentamiento sobre 26°C (derecha) para modelo conglomerado IVb



Fuente: Elaboración Propia

En términos absolutos, los resultados obtenidos para el modelo de conglomerado IVb se presentan particularmente crítico, con un sobrecalentamiento muy importante en los escenarios posteriores a la entrada en vigencia de la Reglamentación Térmica, lo cual claramente está determinado en gran medida por su orientación poniente.

La Figura 5 presenta el detalle por recintos, donde el living-comedor y cocina (integrada, tipo americana) concentran el mayor sobrecalentamiento de este departamento "robot", probablemente por condiciones morfológicas y las ganancias internas de la cocina (que igualmente fueron reducidas en comparación con el recinto tradicional de los otros modelos).

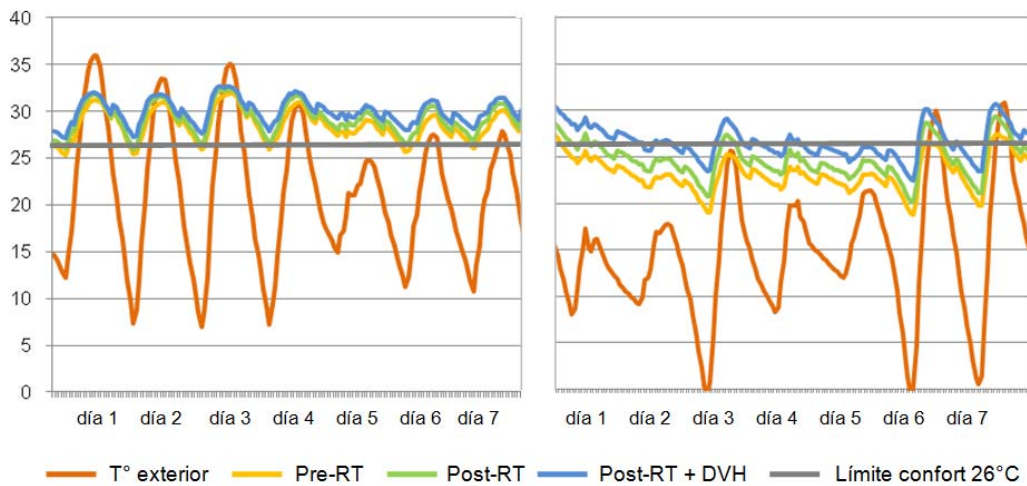
En cualquier caso el aumento en los grados-hora sobre 26°C es más o menos constante en todos los recintos y especialmente considerable con el reemplazo del vidriado simple por vidriado doble.

De acuerdo a lo observado, la orientación del departamento modelo tiene una influencia importante en la diferencia de grados-hora de sobrecalentamiento cuando se comparan en valores absolutos (no así en términos porcentuales, donde es más o menos constante entre los distintos conglomerados). Probablemente, los voladizos de la propia arquitectura de los departamentos (balcones por ej.) actúan como protección solar en los modelos de orientación con componente norte.

Esto se puede comprobar en los gráficos de la Figura 6, que presenta curvas de temperatura exterior e interior por recintos durante una semana de verano y otra de otoño para el modelo del conglomerado I. Dado que este modelo posee una orientación nororiente, el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre los recintos es considerablemente más perpendicular en la semana de enero que en la de abril, generando un aporte diferente de ganancia solar en los dos casos.

Esto se puede observar en la brecha entre las temperaturas interiores en los tres escenarios durante el otoño (hasta 5°C entre Pre-RT y Post-RT+DVH), el cual considerablemente más alto que durante el verano (con apenas un 1°C entre los mismos dos escenarios).

Figura 6. Curvas de temperatura [°C] obtenidas mediante simulaciones de conglomerado I para la primera semana de enero (izquierda) y abril (derecha)



Fuente: Elaboración Propia

5. Conclusiones

La primera conclusión de este estudio corresponde a una primera evaluación de los impactos de la 2ª Etapa de la Reglamentación Térmica en los mercados inmobiliarios de departamentos del Gran Santiago. Siguiendo las reglas de un mercado en competencia, y con un rango de precio de demanda acotado por las políticas de subsidio habitacional, las mejoras técnicas a estos productos no se han traducido en un aumento de los precios finales al consumidor. Más aun, a la luz de los resultados obtenidos en el proceso de generación de conglomerados, se puede hipotetizar que el aumento de costes técnicos devino en una disminución en otro ítem de la cadena de costes inmobiliarios.

Por otro lado, se demostró la desproporción que se produce entre la reducción de los grados hora de calefacción versus los de sobrecalentamiento en verano, al comparar dos nuevos escenarios posteriores a la entrada en vigencia de la 2ª Etapa de la Reglamentación Térmica (post-RT y post-RT+DVH) versus la situación previa. En los 5 modelos estudiados pertenecientes a los 4 conglomerados propuestos, se pudo observar al mismo tiempo ligeras mejoras en términos del confort de invierno (asociadas a una reducción del valor-U del muro) en comparación con un alto incremento del sobrecalentamiento interior. Esto plantea importantes desafíos para los pasos futuros de la Reglamentación Térmica, la cual según lo visto debería integrar a todas luces criterios para el confort de verano y al mismo tiempo debiera revisarse el real impacto de las exigencias actuales en términos de mejoramiento de las condiciones de confort durante el período de calefacción.

Como pasos futuros en la investigación, se propone el desarrollo de una nueva agrupación más precisa, donde se incorporen otros datos a la base. Entre estos se propone incorporar como variable nominal, el programa arquitectónico de cada departamento y su macro ubicación en la ciudad. Respecto a las simulaciones de comportamiento térmico, se plantea la generación de un modelo agregado de determinación de comportamiento térmico, haciendo variar el departamento representativo en base su orientación y altura, dentro de cada conglomerado. Esto permitiría calcular las variaciones en términos del confort dentro de cada uno de ellos.

Bibliografía

- Aguirre, Carlos; Marmolejo, Carlos *Efecto de los subcentros en los valores inmobiliarios, estudio de caso de la Región Metropolitana de Barcelona*. 2009, Revista de la Construcción, pág. (en edición).
- Aguirre, Carlos; Marchant, Carla. Proceso de Renovación Urbana de Santiago, una mirada a los demandantes de vivienda. [aut. libro] Rodrigo Hidalgo y Carlos De Mattos. *Movilidad Espacial y Reconfiguración Metropolitana*. Santiago de Chile : Geolibros- Eure, 2007.
- Aguirre, Carlos. *Impacto en el precio de departamentos nuevos del anuncio de la línea 4 del ferrocarril metropolitano de Santiago de Chile*. [ed.] Actas del X coloqui internacional de geocritica. 12, Barcelona : Geocritica, 2008, Actas del X congreso de Geocritica, Vol. X.
- Arenas, Federico. Re-configuración espacial y adaptación institucional: un reajuste pendiente en el caso de los espacios metropolitanos chilenos. [aut. libro] C. y R. HIDALGO DE MATTOS. *Santiago de Chile: movilidad espacial y reconfiguración metropolitana*. Santiago de Chile : Geolibros-Eure, 2007.
- CChC. *Mercados Inmobiliarios: Análisis y Proyecciones, Primer Semestre 2008*. M. Vergara (Ed.). Santiago de Chile : Cámara Chilena de la Construcción, 2008
- DECON UC. *Informe de tipologías de vivienda, segunda etapa de la Reglamentación Térmica*. Santiago de Chile : Sin Editar, 2000.
- DECON UC. *Informe Final de la Segunda Etapa de la reglamentación termica para vivienda*. Santiago de Chile : Sin editar, 2002.
- DECON UC-Portalinmobiliario.com. *Informe de Actividad Inmobiliaria*. Santiago de Chile : Portal inmobiliario, 2004-2009.
- Departamento de Estudios Camara Chilena de la Construcción. *Mercados Inmobiliarios*. Santiago de Chile : CCHC, 2007.
- Hair, Joseph; Anderson, Rolph. *Análisis Multivariante*. Madrid : McgrawHill, 2005.
- Hidalgo, Rodrigo. Tipologías de expansión metropolitana en Santiago de Chile: precariópolis estatal y privatópolis inmobiliaria. *Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica*. [En línea] 30 de mayo de 2008. [Citado el: 1 de mayo de 2009.] <http://www.ub.es/geocrit-xcol/434.htm>.
- Hidalgo, Rodrigo. *Tipologías de expansión metropolitana en Santiago de Chile: precariópolis estatal y privatópolis inmobiliaria*. 2008. Barcelona : geocritica, 2008, Vol. 270.
- IC. *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, artículo 4.1.10*. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006.
- IC. *Determinación de línea base anual para la evaluación de la inversión en eficiencia energética en el sector residencial invierno 2007 - verano 2008*. Proyecto Fomento a la Eficiencia Energética PN 2005.2121.1. Programa País Eficiencia Energética (PPEE) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Consultores: Instituto de la Construcción. Santiago de Chile : Proyecto Fomento de la Eficiencia Energética (CNE/GTZ), 2008
- INE. *Chile: Ciudades, aldeas, pueblos y caseríos*. Santiago de Chile : Instituto Nacional de Estadísticas, 2005
- INE. *Informe Anual Edificación 2006*. Santiago de Chile : Instituto Nacional de Estadísticas, 2007.
- Lira, Pedro. *Precio hedónico de viviendas en Santiago de Chile*. 1977, Cuadernos de Economía, págs. 15-30.
- McDonalds, Daniel y McMillen, Daniel. *Urban Economics and Real Estate*. Chicago : Mcgraw Hill, 2007.
- Palmucci, Gaston *Capitalización de la infraestructura pública en el precio de las viviendas: El caso del Metro de Santiago*. 2005, Informes Cámara Chilena de la Construcción, págs. 1-100.
- Perez, Cesar. 2005. *Métodos estadísticos avanzados con Spss*. Madrid : Thomson Editorial, 2005.
- Santander, Sergio y Aguirre, Carlos. 2000. *Manual de Preparación y evaluación de proyectos inmobiliarios*. Santiago de Chile : Inedito, 2000.