

¿Están los usuarios dispuestos a pagar más por eficiencia energética en viviendas nuevas? Dos estudios de valoración contingente en Santiago de Chile y Barcelona

Felipe Encinas^{1,2}, Carlos Marmolejo³, Francisco Sánchez⁴, Carlos Aguirre⁵

¹ Escuela de Arquitectura; Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos; Pontificia Universidad Católica de Chile. El Comendador 1916, Campus Lo Contador. Providencia, Santiago de Chile. felipe.encinas@uc.cl

² Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)

³ Centro de Política de Suelo y Valoraciones; Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona; Universidad Politécnica de Cataluña. upc.carlos.marmolejo@gmail.com

⁴ Departamento Máquinas y Motores Térmicos; Escuela Superior de Ingeniería; Universidad de Cádiz. francisco.flor@uca.es

⁵ Escuela de Construcción; Universidad de las Américas. caguirre@udla.cl

RESUMEN

En la mayoría de los países, la eficiencia energética residencial ha sido delegada en gran medida a las dinámicas de los mercados inmobiliarios después de regular un nivel mínimo. Consecuentemente, se espera que las promociones de vivienda con mayores niveles de eficiencia energética reciban un *market premium* que al menos equivalga al sobre costo de la inversión en mejoras de envolvente térmica y/o sistemas más eficientes. Sin embargo, la pregunta acerca de si los usuarios residenciales están dispuestos a pagar más por estos desarrollos inmobiliarios eficientes permanece en gran medida inexplorada en países donde los certificados energéticos no han sido implementados como obligatorios, o donde su incorporación es más reciente. Este artículo explora el impacto de la eficiencia energética en la disposición a pagar por viviendas en Santiago de Chile y Barcelona, España. Para esto, se aplicó un método de valoración contingente con el objetivo de extraer la estructura de preferencias para diferentes niveles de eficiencia energética en el mercado residencial. Los resultados revelan que una significativa proporción de los encuestados están dispuestos a pagar en una cantidad que sobrepasa los costos de la inversión en eficiencia energética. Para el caso de Santiago, los resultados del modelo de regresión sugieren que esta disposición a pagar se ve positivamente influenciada por los siguientes factores: nivel de ingresos, nivel educacional y aspectos demográficos, siendo los hogares con niños pequeños aquellos que están dispuestos a pagar más. Para el caso de Barcelona, se evaluó la disposición a pagar por mejoras en la certificación energética, que constituye la etiqueta verde obligatoria de la Unión Europea, donde los hogares efectivamente están dispuestos a pagar por las viviendas mejor calificadas, a pesar de la juventud de la política. En ambos casos, estos resultados poseen importantes implicancias para el diseño de políticas públicas para promover la eficiencia energética en nuevos desarrollos inmobiliarios.

Palabras-claves: eficiencia energética, certificados energéticos, mercado inmobiliario, disposición a pagar, valoración contingente

1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países, la eficiencia energética a nivel residencial ha sido delegada en gran medida a las dinámicas de los mercados inmobiliarios después de regular un nivel mínimo. Consecuentemente, se espera que las promociones de vivienda con mayores niveles de eficiencia energética reciban un *market premium* que al menos equivalga al sobre costo de la inversión en mejoras de envolvente térmica y/o sistemas más eficientes. Al mismo tiempo, la relación entre el precio de oferta y el acceso al financiamiento por medio de créditos hipotecarios determina el máximo a pagar por la vivienda, generando una curva de demanda donde la elasticidad cruzada de los diferentes atributos inmobiliarios resulta evidente (dentro de los que se pueden contar los asociados a la eficiencia energética), generando una lógica de compensación (*trade-off*) entre éstos.

Sin embargo, la pregunta acerca de si los usuarios residenciales están dispuestos a pagar más por estos desarrollos inmobiliarios eficientes permanece en gran medida inexplorada en países donde los certificados energéticos no han sido implementados como obligatorios, o donde su incorporación es más reciente. Este artículo explora el impacto de la eficiencia energética en la disposición a pagar por viviendas en Santiago de Chile y Barcelona, España. Para esto, se aplicó un método de valoración contingente con el objetivo de extraer la estructura de preferencias para diferentes niveles de eficiencia energética en el mercado residencial.

El caso del mercado inmobiliario de Santiago de Chile fue seleccionado como ejemplo de una economía emergente donde los certificados energéticos de viviendas, si bien existen como instrumento, no son obligatorios de ser aplicados en las transacciones (venta o arriendo) de propiedades. Este, resulta además relevante por cuanto constituye un nicho que, pese a que está asociado a un segmento de la población de ingresos medios muy significativo (en los últimos años, la oferta inmobiliaria privada ha fluctuado siempre en un rango entre las 30,000 y 40,000 unidades) (Ministerio de Vivienda y Urbanismo 2016), prácticamente no ha sido estudiado en términos de la presencia de atributos de sustentabilidad y eficiencia energética. En este sentido, una primera aproximación mostró que – a partir de información del Portalinmobiliario.com¹ - la presencia del atributo de doble vidriado en ventanas ha aumentado de un 5% en 2007 hasta un 29% en 2014 con respecto a la oferta total de departamentos. Por otra parte, el incremento en los espesores de aislación térmica en muros como argumento de venta para las casas ha aumentado de un 4% en 2010 a un 10% en 2014 (Encinas 2015). De esta manera, los atributos de eficiencia energética son frecuentemente presentados como elementos aislados, sin considerar el desempeño energético como un sistema completo, de manera similar al sentido propuesto por la Directiva 2010/31/EY de la Comunidad Europea (Official Journal of the European Union 2010) y sus certificados energéticos (también conocidos como EPC por su sigla en inglés: *Energy Performance Certificates*).

En el caso de España las cosas no muy diferentes, puesto que la universalización de las etiquetas energéticas, de la mano de la directiva antes comentada, sólo ha sido una realidad a partir de junio del año 2013, cuando la transposición a través del RD 235/2013 ha instado a la información energética de prácticamente todo tipo de inmuebles en ocasión de su alquiler o venta. Por tanto, resulta interesante probar hasta qué punto los hogares están dispuestos a pagar por beneficiarse de las mejoras de una vivienda eficiente desde la perspectiva energética. La utilización del método de valoración contingente en este caso, salva el escollo que supone la muy escasa presencia de inmuebles eficientes construidos con las directrices del código técnico de la

¹ *Portalinmobiliario.com* es el portal de búsqueda más importante del país para la venta y arriendo de propiedades, con presencia, además, en varios países latinoamericanos.

edificación y muy particularmente el DB-HE de limitación de la demanda energética cuya entrada en vigor en el año 2007 coincidió con la práctica paralización del mercado de nueva planta residencial. Por esa razón es muy difícil poder analizar la formación de precios a través de las técnicas afiliadas a los métodos basados en las preferencias observadas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Definición de un modelo de optimización de la envolvente térmica para casas del mercado inmobiliario de Santiago de Chile

En el ámbito del análisis inmobiliario, los submercados son definidos usualmente de acuerdo a la segmentación en términos de rangos de precio o superficie útil, pudiendo establecerse como nichos de oferta. Sin embargo, este tipo de aproximación no considera que los productos inmobiliarios – entendidos como bienes complejos – pueden compensar la falta de algunos atributos específicos con la presencia de otros. Por el contrario, una aproximación multidimensional es capaz de integrar diferentes atributos o indicadores, permitiendo su desarrollo al nivel de su cadena de valor. Este artículo propone una metodología basada en el procedimiento del análisis de cluster, el cual fue implementado utilizando la base de datos de oferta del *Portalinmobiliario.com* para el período 2010-2013, correspondiente a 718 conjuntos de casas.

Por medio de este procedimiento, 8 tipologías de casas fueron definidas por medio de un análisis de cluster jerárquico, utilizando el método de Ward y considerando las puntuaciones factoriales de un Análisis de Componentes Principales (ACP) como variables de entrada. El ACP fue previamente aplicado considerando el precio de oferta, la superficie útil y 4 atributos de eficiencia energética: doble vidriado en ventanas, el aumento del nivel de aislante térmico en muros, colectores solares térmicos y artefactos sanitarios eficientes para el ahorro de agua. Para los objetivos de este artículo, se presentan 3 tipologías de casas que representan el rango completo de precios del mercado inmobiliario de Santiago de Chile (Figuras 1 a la 3).

Figura 1: Plantas e isométrica de tipología 1 (casas de rango de precio inferior a 98,000 €)

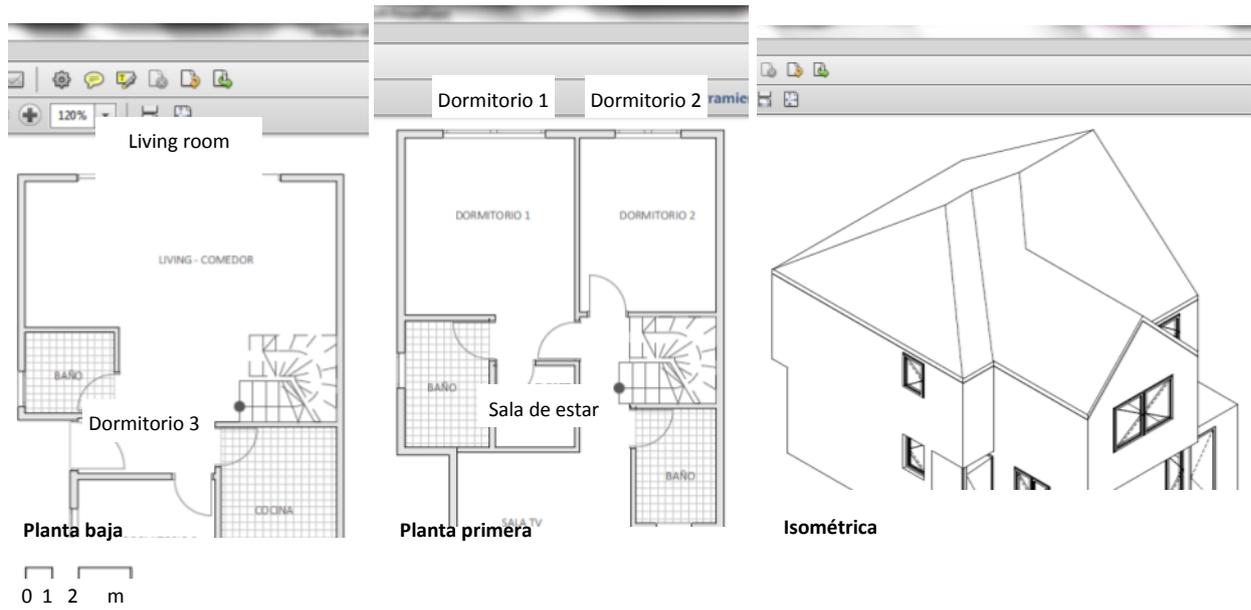
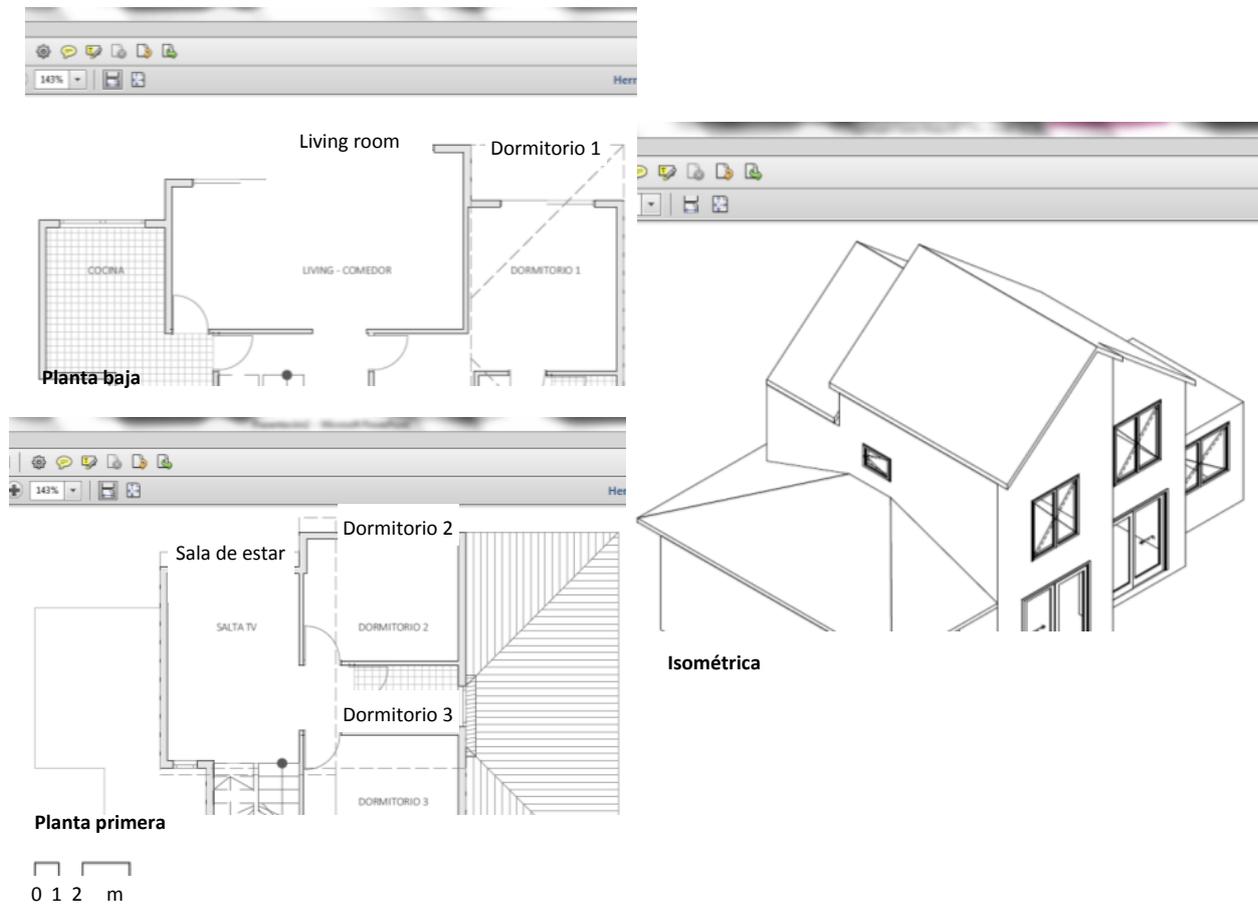
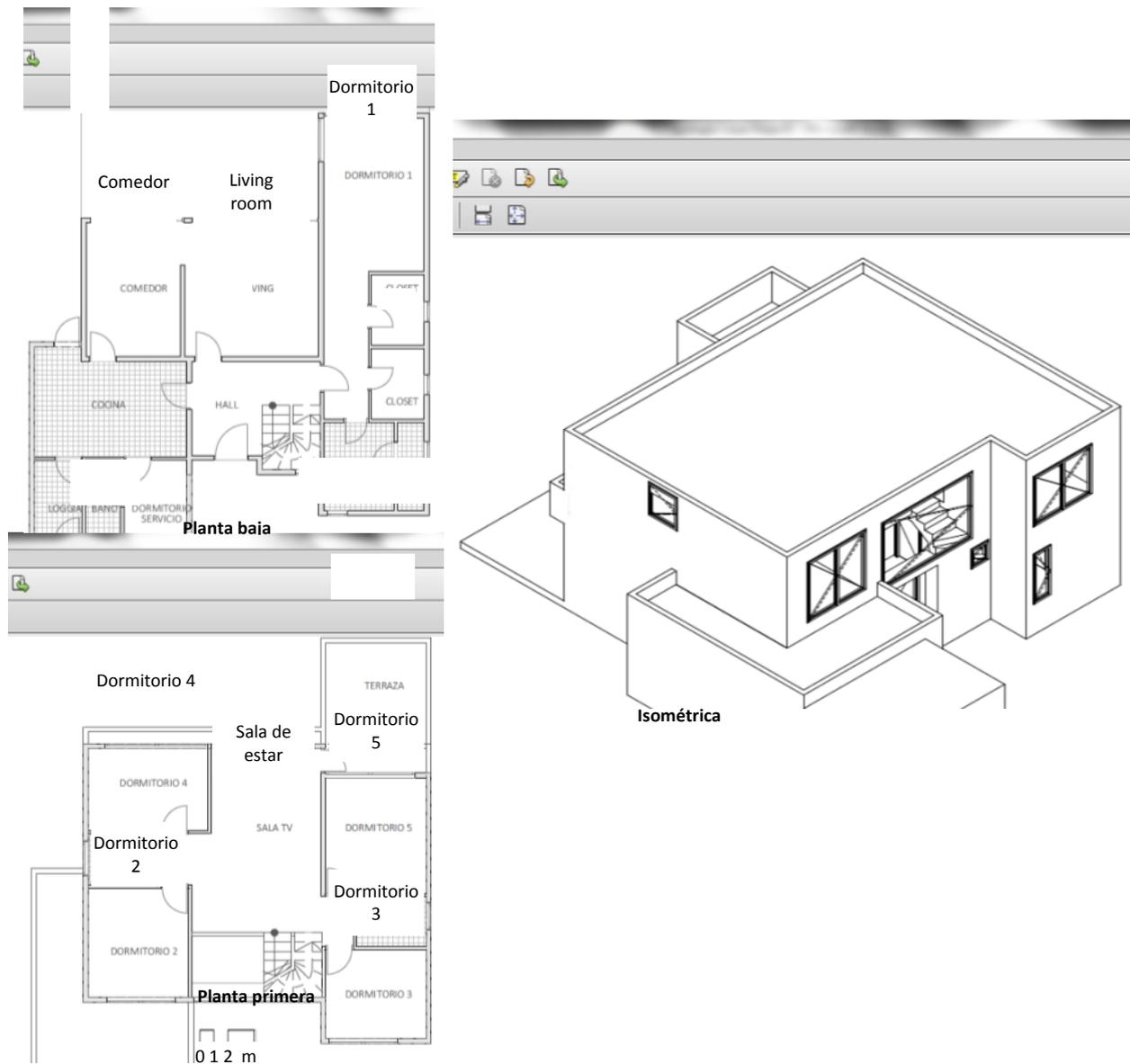


Figura 2: Plantas e isométrica de tipología 2 (casas de rango de precio entre 131,000 y 98,000 €)



**Figura 3: Plantas e isométrica de tipología 3
(Casas de rango de precio mayor a 262,000 €)**



Con posterioridad a esta etapa, se procedió a desarrollar el modelo de optimización de la envolvente térmica propiamente tal, en base al concepto de coste del ciclo de vida (CCV). Este fue originalmente desarrollado con el objetivo de guiar a los diseñadores a través de la estimación de los costos incrementales para desarrollar, producir, usar o retirar un determinado elemento dentro de un sistema (Asiedu and Gu 1998), y más recientemente aplicado al proceso de diseño completo de un edificio. La técnica utilizada para esto fue desarrollada bajo el nombre de análisis del coste de ciclo de vida, la cual ofrece una importante oportunidad al desarrollo de la construcción sustentable, puesto que propone una visión de largo plazo en oposición a la tradicional perspectiva que aspira a la obtención de una rentabilidad inmediata con la mínima inversión inicial, e ignorando sus impactos económicos y medioambientales futuros (García-Erviti, Armengot-Paradinas, and Ramírez-Pacheco 2015). Esta técnica permite el análisis por medio de la comparación de costes sobre un periodo específico de tiempo, considerando, además, factores económicos relevantes en términos de inversión inicial y costes futuros para operación y reposición.

El análisis del CCV ha recibido un nuevo impulso por parte de la Unión Europea en los últimos años, gracias a la Directiva 2010/31/EU, relativa al desempeño energético de las edificaciones (Official Journal of the European Union 2010). De acuerdo a esta regulación, los requerimientos para el desempeño energético y elementos constructivos deben ser definidos con el objetivo de alcanzar un balance de tipo coste-óptimo entre las inversiones realizadas y los costes de energía ahorrados a través del ciclo de vida del edificio. Esto, sin perjuicio de que los diferentes países miembros pueden definir sus requerimientos mínimos de acuerdo a criterios más exigentes que los niveles coste-óptimos.

Esta directiva fue complementada con un reglamento delegado, el cual establece un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de las edificaciones y sus elementos constructivos (Official Journal of the European Union 2012). En este contexto, el cálculo del CCV puede ser realizado enfocado al sistema o al componente, considerando la inversión inicial C_i y – para cada componente del sistema j – los costos anuales para cada año (referidos al año inicial τ_0) y el valor final. El CCV está, entonces, vinculado a la duración del período de cálculo τ , de acuerdo a la siguiente ecuación (UNE-EN15459 2008):

$$CCV_{\tau} = C_i + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

donde:

- CCV τ coste del ciclo de vida (referido al año inicial τ_0) para el período de cálculo
- C_i costes iniciales de inversión
- $C_{a,i}(j)$ coste anual, año i , del componente j (incluyendo costes de funcionamiento y/o de reposición)
- $V_{f,\tau}(j)$ valor final del componente j al final del período de cálculo (referido al año inicial τ_0)
- $R_d(i)$ tasa de descuento para el año i

Para los fines de esta investigación se estableció un período de cálculo de 20 años y una tasa de descuento del 12%.

Este tipo de análisis requiere la aplicación de una metodología compleja que habitualmente incluye un modelo de simulación de desempeño energético y un método de optimización. Este artículo presenta una nueva metodología basada en la combinación de una herramienta simplificada de cálculo del desempeño energético junto con otra detallada, con el objetivo de obtener una estimación robusta del CCV con bajo tiempo de procesamiento computacional. La norma ISO 13790 fue seleccionada como algoritmo de cálculo para la implementación de rutinas de simulación energética. Este estándar entrega un modelo de cálculo simplificado en base a un modelo de régimen cuasi estacionario para obtener la demanda de energía anual para calefacción en espacios de edificios residenciales o no residenciales (ISO 13790 2008). Este modelo fue ajustado a partir de los resultados de una herramienta detallada de cálculo, realizado – en este caso – por medio del software de simulación energética en régimen dinámico TAS (Environmental Design Solutions Limited 2016). El error cuadrático medio obtenido para la resolución del modelo fue de 0.1%, 2.1% y 1.2% para las tipologías 1,2, y 3, respectivamente.

Finalmente, un análisis de sensibilidad fue aplicado en todas las tipologías propuestas en base a este procedimiento de cálculo. La incertidumbre fue propagada en el modelo a partir de 4 parámetros de entrada vinculados con la envolvente térmica (transmitancia térmica de muros, ventanas y techos), y la orientación, las cuales fueron uniformemente distribuidas por medio de

un modelo Monte Carlo. Luego, una matriz muestral de 10,000 casos fue definida para cada tipología, a partir de la combinación de estos parámetros de entrada y sus correspondientes distribuciones, obteniéndose la demanda de energía anual para calefacción por unidad de superficie [kWh/m²].

2.2. Disposición a pagar por eficiencia energética residencial por medio de un método de valoración contingente en Santiago de Chile

Desde un punto de vista constructivo, la oferta de vivienda en Santiago de Chile está construida mayoritariamente en albañilería y hormigón armado, con 38.6% y 22.5% con respecto al número total de viviendas del mercado privado, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE 2015). Sin embargo, estos sistemas constructivos tradicionalmente no han incorporado aislación térmica en sus soluciones de envolvente, lo cual puede ser entendido en el contexto de la reglamentación térmica² vigente, la cual define un requerimiento de 1.9 W/m²K como transmitancia térmica máxima admisible para muros exteriores en la zona climática de Santiago. Este estándar puede ser alcanzado por medio del aumento en la altura de los ladrillos y/o incorporando morteros de cemento denominados “térmicos” (debido a poseer una conductividad térmica ligeramente menor que los tradicionales). Dado que la albañilería de ladrillo corresponde al sistema constructivo más aplicado en casas unifamiliares – en la práctica – después de la introducción de la reglamentación térmica, todavía es posible construir sin aislación térmica en muros. Esta situación fue también observada por la OECD, la cual recomendó la incorporación de “estándares térmicos y constructivos efectivos” para el mercado de viviendas chileno, con el objetivo de elevar la calidad constructiva, proteger la salud pública y reducir la contaminación ambiental (Caldera 2012).

Para evaluar la disposición a pagar (DAP) por una vivienda más energéticamente eficiente (expresada en mejoras en la envolvente térmica, considerando muros, ventanas y techos), se le solicitó indicar directamente una cantidad de dinero – utilizando el método de valoración contingente – a los participantes de una encuesta. Esta técnica se basa en el concepto de que los cambios en la utilidad individual puede expresarse en términos de compensación, y por tanto, puede expresarse en unidades monetarias. Para los fines de esta investigación, se ha utilizado preguntas de formato abierto para extraer la DAP por los beneficios obtenidos al mejorar los estándares de envolvente térmica de las viviendas. Sin embargo, este tipo de preguntas poseen muchas veces la desventaja de inducir a la confusión de los encuestados si es que no se entrega ninguna orientación para la respuesta. Por esta razón, los participantes fueron informados acerca de los costes marginales y los beneficios en términos de ahorros de energía, asociados a las mejoras en la envolvente térmica de las viviendas (Figura 4).

La encuesta – constituida por 11 preguntas – fue implementada en un cuestionario online y enviada por correo electrónico a usuarios registrados de la base de datos del *Portalinmobiliario.com* que han estado buscando casas nuevas para comprar en los últimos meses en Santiago de Chile. Con 378 encuestas respondidas completas, el marco muestral de esta quedó configurada con un 5.04% de margen de error para un nivel de confianza del 95%.

² Correspondiente al artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

Figura 4: Disposición a pagar por mejoras en la envolvente térmica para la tipología 1 (casas de rango de precio inferior a 98,000 €) como fue evaluada por medio de la encuesta

Considerando que la casa que está buscando para comprar tiene los sistemas constructivos mínimos que exige la normativa nacional por temas térmicos (vale decir, vidrio simple en ventanas y muros de ladrillo sin aislación térmica):

¿Estaría dispuesto(a) a pagar un monto de dinero adicional al costo de su casa por contar con mejoras de eficiencia energética?

Para tomar su decisión puede tomar como referencia los valores de la tabla presentada a continuación, donde, por ejemplo, reemplazar el vidrio simple de las ventanas por uno doble y agregar 8 cm de aislación térmica en los muros costaría 1900 € adicionales al precio de su casa, pero le significaría un ahorro de 270 € al año en gastos de calefacción.

Tipo de ventana	Aislación térmica en muros	Costo adicional a pagar	Ahorro anual en calefacción
Vidriado doble	Sin aislación térmica	500 €	80 €
Vidriado doble	2 cm de aislación térmica	1300 €	190 €
Vidriado doble	8 cm de aislación térmica	1900 €	270 €
Vidriado doble low-E ³	11 cm de aislación térmica	2600 €	320 €
Vidriado doble low-E	20 cm de aislación térmica	3900 €	360 €

2.3. Disposición a pagar por una mejor calificación energética por medio de un método de valoración contingente en Barcelona

En el caso español el cambio evaluado es una mejora en la calificación energética de un apartamento convencional entre medianeras de 3 habitaciones, 2 baños, con una superficie de 81,5 m² útiles ubicado en Barcelona. Dicho apartamento responde a la tipología dominante de viviendas plurifamiliares de reciente construcción según el análisis multivariante construido a partir de 4.000 observaciones proveniente de la base de datos del Centro de Política de Suelo y Valoraciones. En concreto, la mejora de calificación energética ofrecida representa pasar de la calificación “E” a la calificación “A”. Es decir, de la calificación mínima de las viviendas de nueva planta en el ámbito de estudio (Marmolejo 2016) a la máxima prevista en la legislación vigente (RD 235/2013).

Para ilustrar las repercusiones sobre la economía familiar y el medio ambiente, las personas encuestadas fueron claramente informadas del ahorro en la factura energética y las emisiones de CO₂ que supone la mejora ofrecida. Además, y a diferencia de lo que contempla la legislación, las unidades utilizadas fueron comprensibles. Por una parte, el ahorro en la factura energética se expresó en euros mensuales, es decir en unidades monetarias expresadas en la unidad temporal en la que es habitual que los hogares liquiden estos pagos. Mientras que las emisiones de CO₂ se expresaron tanto en unidades de masa como en kilómetros equivalentes que recorre un automóvil de combustión interna. Así, los respondientes conocieron que para el apartamento en cuestión pasar de la calificación “E” a la “A” supondría un ahorro de 30 euros/mes en las facturas de

³ Dado que vidriado doble low-E (o de baja emisividad) corresponde a un concepto muy técnico, en la encuesta se presentó como “vidriado doble de alta eficiencia”

electricidad y gas, y una reducción de CO₂ equivalente a lo que produce un automóvil que recorre 16.000 km.

Es importante señalar que tanto las cifras de ahorro energético como de reducción de CO₂ provienen de estimaciones realizadas por García-Navarro (2013) y Barboza (2016) para la misma tipología edilicia. En concreto, dichos autores han estimado en Madrid y Barcelona respectivamente, para un mismo edificio plurifamiliar el cambio en el consumo energético, coste de construcción y emisiones de CO₂ que representan diversas mejoras en sus sistemas activos y pasivos y que conllevan a diferentes calificaciones. Así, una misma calificación puede alcanzarse con diversas configuraciones en los equipos, sistemas de aislamiento e incluso cambios en el caudal de renovación del aire interior. Por tanto, en esta investigación hemos: 1) actualizado los costes energéticos a la fecha actual y en el caso del trabajo de García-Navarro (2013) trasladado al ámbito de estudio tomando en consideración la diferencia del coste de la energía, 2) realizado un modelo de regresión para estimar la media del consumo energético, el coste de la factura energética y las emisiones, 3) trasladado las unidades de emisiones a km recorridos equivalentes utilizando datos de emisiones de CO₂ de automóviles nuevos del Instituto para la Diversificación Energética del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

Una vez informadas las personas sobre las repercusiones económicas y ambientales de la mejora de la calificación ofrecida se les preguntó cuánto estaban dispuestas a pagar de forma adicional por el alquiler o la cuota mensual de la hipoteca. Para ello se recordó a las personas que dicho pago debía tener en consideración sus posibilidades económicas. Se decidió no realizar dos preguntas diferentes según el régimen de tenencia preferido, puesto que, en España en épocas recientes, especialmente antes de la crisis, tanto la cuota mensual hipotecaria como la mensualidad del alquiler han tendido a coincidir dadas las tasas de rentabilidad, los tipos de interés y el valor de los inmuebles residenciales. En una pregunta diferente se indagó por el régimen de tenencia preferido.

El formato de respuesta fue abierto, si bien se partió de un valor guía que coincide, como no podía ser de otra forma, con el ahorro potencial ofrecido de la factura energética. Así, en un primer tanteo se preguntó si se estaba DAP más o menos de 30 euros, y en un segundo se pidió se indicase de forma libre la cantidad exacta. Desde el primer momento las personas también fueron informadas que podían estar no DAP.

Tanto en el caso de las personas que estaban DAP como aquellas que no, se indagó sobre las razones que subyacían detrás de dicha decisión. Esta información, como se verá más adelante, es crucial para poder distinguir los ceros de protesta (i.e. aquellos que rechazan el vehículo de extracción de pago) de los ceros verdaderos (i.e. aquellos que no otorgan valor al cambio ofrecido). Asimismo, esta información permite conocer, en el caso de las personas que sí declararon estar DAP, si dicho sobrepago por la vivienda deriva de ahorros potenciales, de una consciencia en la preservación del ambiente/la salud pública o incluso de una eventual recompensa psicológica derivada de un consumo ambientalmente responsable.

La valoración contingente propiamente dicha se realizó dentro de una encuesta más amplia formada por tres partes:

- Contextualización. Que indaga el conocimiento previo de la calificación energética por parte de los participantes, así como sus hábitos energéticos y satisfacción de su vivienda actual en relación a la eficiencia energética.

- Valoración contingente. Se preguntó directamente a los encuestados por su DAP por la mejora en la calificación energética ofrecida. Para ello se aclaró, que el resto de características de la vivienda, así como su ubicación permanecían sin cambios.
- Perfil del participante. Que recoge información sociodemográfica de los participantes y de su vivienda.

Las encuestas se realizaron durante el mes de mayo de 2016 con soporte informático, la mitad mediante Internet y la otra de forma presencial. Esto permite compensar los posibles sesgos derivados del modo de encuestamiento. Como es sabido, en las encuestas presenciales las personas encuestadas tienden a inclinarse por aquello que es moral o socialmente aceptado, en contrapartida, las personas encuestadoras pueden ayudar a transmitir con mayor claridad las preguntas o resolver dudas. En cambio, en las encuestas electrónicas, no existe una ayuda cara a cara, pero las personas pueden contestar con más sinceridad, especialmente si como es el caso, son informadas que sus respuestas son absolutamente anónimas y confidenciales. Los participantes fueron reclutados a lo largo de los distintos barrios de Barcelona y su primer entorno metropolitano, especial cuidado se ha tenido en que: 1) fuesen residentes mayores de edad con influencia en la toma de decisiones residenciales, 2) representasen la estructura de edades del ámbito estudiado, y 3) que las zonas de reclutamiento representasen los diferentes niveles de renta del mismo. Así, se obtuvo información proveniente de 265 participantes (una vez descartados otros 61 con información incompleta/inconsistente), si se toma en consideración que, según datos del Censo del 2011, en el ámbito de estudio hay 926.583 hogares, entonces el margen de error de la DAP es de 2,81 euros/mes para un nivel de confianza del 99%, partiendo de la desviación estándar de la propia muestra. Si bien, la segmentación por nivel de estudios, a pesar de las precauciones tomadas, indica una sobre representación del grupo de personas con formación universitaria en detrimento de aquéllas con educación básica. Por tanto, los resultados aquí reportados deben tener en consideración esta circunstancia. Finalmente, el análisis se ha realizado con el concurso de técnicas estadísticas uni y multivariantes convencionales como se detalla oportunamente.

3. RESULTADOS

3.1. El caso de Santiago de Chile

Uno de los principales objetivos del análisis del CCV es la obtención del caso correspondiente al valor mínimo de CCV (que puede ser identificado como el caso óptimo), pero existen otros muchos casos de interés en la proximidad de la frontera eficiente. Para los fines de esta investigación, el CCV fue expresado en términos del ahorro de CCV (con respecto al caso base), donde el punto más alto de la nube representa el “óptimo”. Luego, todos los casos en el también llamado frente de Pareto representan las mejores combinaciones (valen decir, las más baratas) en relación a la demanda de energía para calefacción. Más allá de la proximidad de esta frontera eficiente están los casos que deben ser descartados, ya que para una misma demanda de calefacción existen otros casos con mayores ahorros en CCV. Luego, los puntos de interés seleccionados de la frontera eficiente son (Figuras 5 y 6):

- (1) Caso base (mayor demanda de calefacción, ya que cumple al mínimo con los requerimientos de la reglamentación térmica vigente y está orientado al sur)
- (2) Caso base orientado al norte (orientación más favorable)
- (3) Primera mejora en el tipo de ventana (reemplazo del vidriado simple por doble)
- (4) Caso óptimo (mayor ahorro en CCV)

- (5) Segunda mejora en el tipo de ventana (reemplazo del vidriado doble por doble low-E)
- (6) Mejor caso (menor demanda de calefacción)

Figura 5: Frontera eficiente según tipo de ventana para la tipología 1

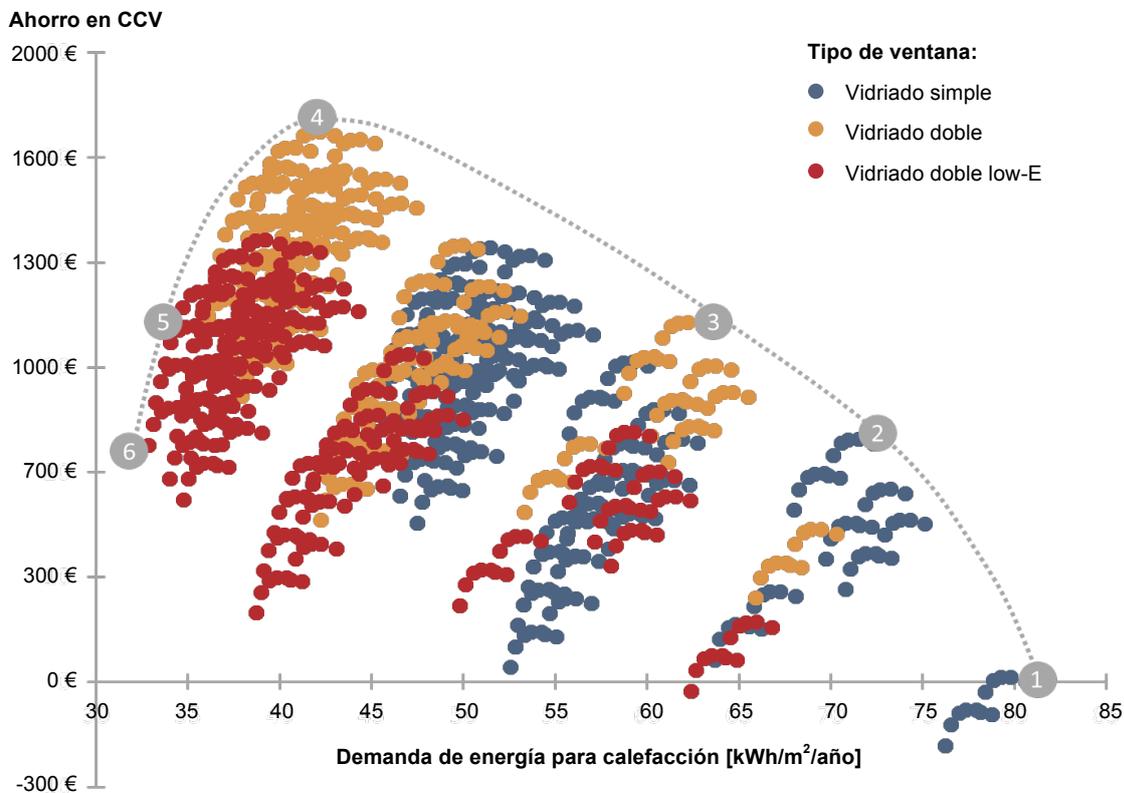
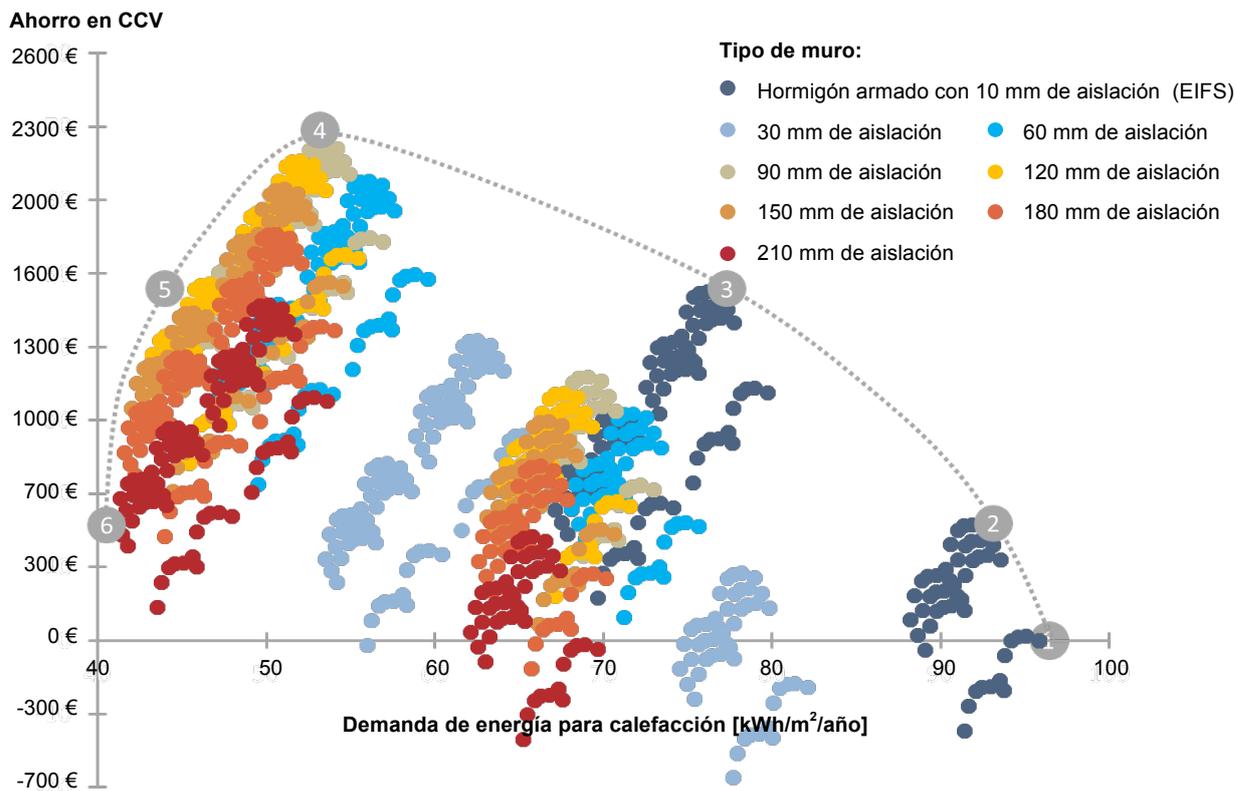


Figura 6: Frontera eficiente según tipo de muro para la tipología 3



De acuerdo a los resultados obtenidos, el caso óptimo se consigue con la incorporación de doble vidriado en ventanas y entre 80 y 90 mm de aislante térmico en los muros para las 3 tipologías arquitectónicas de casas. La caracterización de los 6 puntos seleccionados de la frontera eficiente son igualmente presentados para las tipologías 1 y 3, correspondientes a los casos más extremos (Tablas 1 y 2, respectivamente). Es importante considerar que los sistemas constructivos considerados para la definición de los muros son diferentes, dado que representan diferentes calidades constructivas, y por ende, diferentes costes de construcción.

Tabla 1: Caracterización de los casos seleccionados para el modelo de optimización de la tipología 1

Casos ⁴	Orientación	Inversión	Tipo de ventana	Tipo de muro ⁵	Tipo de techos ⁶
1	Sur	6300 €	Vidriado simple	Albañilería de ladrillo sin aislación térmica	80 mm de aislación térmica
2	Norte	6300 €	Vidriado simple	Albañilería de ladrillo sin aislación térmica	80 mm de aislación térmica
3	Norte	6800 €	Vidriado doble	Albañilería de ladrillo sin aislación térmica	80 mm de aislación térmica
4	Norte	8100 €	Vidriado doble	Albañilería de ladrillo con 80 mm de aislación térmica	100 mm de aislación térmica
5	Norte	9400 €	Vidriado doble low-E	Albañilería de ladrillo con 110 mm de aislación térmica	170 mm de aislación térmica
6	Norte	10000 €	Vidriado doble low-E	Albañilería de ladrillo con 200 mm de aislación térmica	200 mm de aislación térmica

Tabla 2: Caracterización de los casos seleccionados para el modelo de optimización de la tipología 3

Casos ⁷	Orientación	Inversión	Tipo de ventana	Tipo de muro ⁸	Tipo de techos ⁹
1	Sur	21100 €	Vidriado simple	Hormigón armado con 10 mm de aislación térmica	80 mm de aislación térmica
2	Norte	21100 €	Vidriado simple	Hormigón armado con 10 mm de aislación térmica	80 mm de aislación térmica
3	Norte	22500 €	Vidriado doble	Hormigón armado con 10 mm de aislación térmica	80 mm de aislación térmica
4	Norte	25700 €	Vidriado doble	Hormigón armado con 90 mm de aislación térmica	100 mm de aislación térmica
5	Norte	27400 €	Vidriado doble	Hormigón armado con 180 mm de aislación térmica	170 mm de aislación térmica
6	Norte	29500 €	Vidriado doble low-E	Hormigón armado con 210 mm de aislación térmica	200 mm de aislación térmica

⁴ Correspondientes a los puntos de interés seleccionados en la frontera eficiente de la Figura 5

⁵ Considerando poliestireno expandido de 15 kg/m³ por la cara interior de los muros con una placa de yeso-cartón de 10 mm como terminación interior.

⁶ Considerando lana mineral de 40 kg/m³ con una placa de yeso-cartón de 10 mm como terminación interior.

⁷ Correspondientes a los puntos de interés seleccionados en la frontera eficiente de la Figura 6

⁸ Considerando poliestireno expandido de 15 kg/m³ por la cara exterior de los muros utilizando un sistema tipo EIFS

⁹ Considerando lana mineral de 40 kg/m³ con una placa de yeso-cartón de 10 mm como terminación interior.

La disposición a pagar (DAP) por mejoras en la envolvente térmica de las viviendas, obtenida a partir de la encuesta realizada, es presentada por medio de histogramas de frecuencia acumulada – después de descartar los ceros de protesta (expresados, por ejemplo, en usuarios que no están dispuestos a pagar porque consideran que ya están pagando demasiado por su vivienda) – y estableciendo asociaciones con las mejoras técnicas propuestas a través del modelo de CCV (Figura 7). Se puede observar, como la máxima DAP varía de 3900 € a 8400 €, asociado al mejor caso de las tipologías 1 y 3, respectivamente (punto 6 de las Tablas 1 y 2).

Finalmente, entre los modelos que pueden explicar la DAP, una regresión lineal con un coeficiente de terminación (R^2) de 0.40 fue seleccionada, la cual se representa por medio de la siguiente ecuación:

$$DAP = 2,373,337 X_1 + 1,563,196 X_2 + 681,749 X_3 + 627,160 X_4 + 379,598 X_5 + 300,357 X_6 + 938,163$$

donde X_i son las variables independientes que explican el modelo y que corresponden a:

- X_1 casas que están buscando para comprar con precio de oferta mayores a 262,000 €
- X_2 casas que están buscando para comprar con precio de oferta entre 164,000 € y 262,000 €
- X_3 casas que están buscando para comprar con precio de oferta entre 131,000 € y 164,000 €
- X_4 casas que están buscando para comprar con precio de oferta entre 98,000 € y 131,000 €
- X_5 usuarios con estudios de postgrado y que declaran realizar alguna acción ambiental
- X_6 parejas con hijos menores de 5 años

Los resultados del modelo de regresión – como método para identificar los factores que permiten explicar la DAP – sugieren que ésta está positivamente influenciada por el nivel de ingresos (indirectamente evaluado por el rango de precio de la casa que están buscando para comprar), nivel educacional y aspectos demográficos, siendo los hogares con niños pequeños quienes estarían dispuestos a pagar más.

Figura 7: Disposición a pagar por mejoras en la envolvente térmica de las viviendas con respecto al modelo de análisis de CCV para la tipología 1

Tipología 1 (casas de rango de precio inferior a 98,000 €)

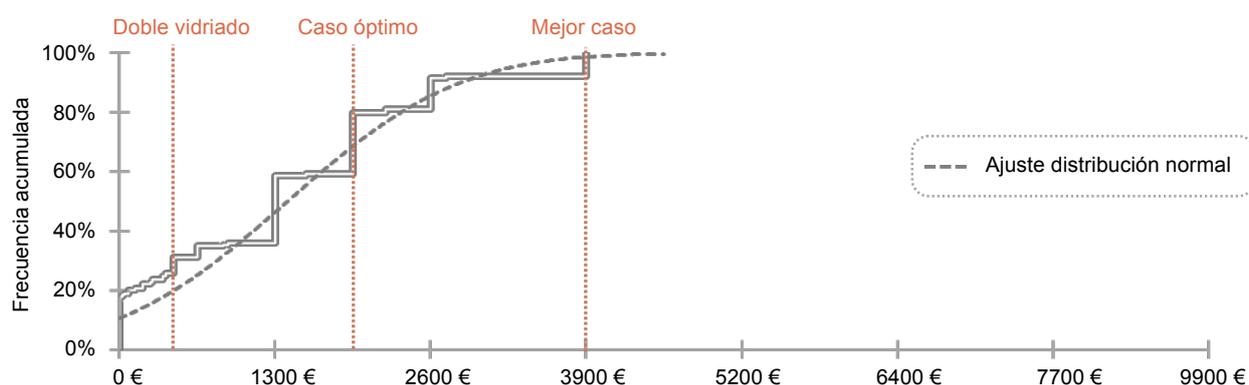
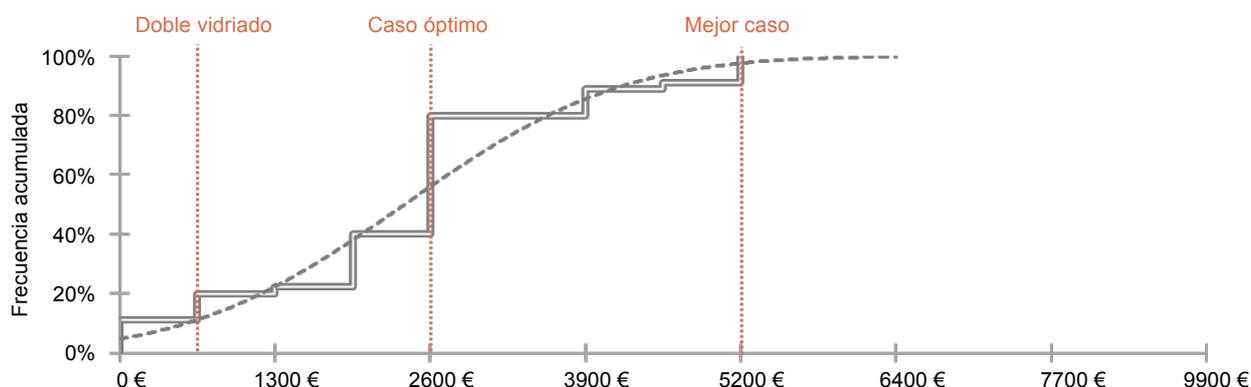
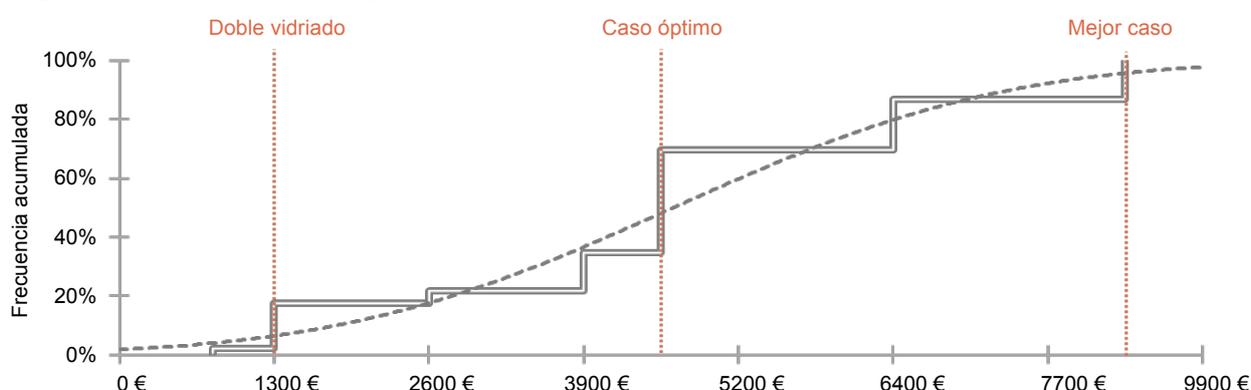


Figura 7 (continuación): Disposición a pagar por mejoras en la envolvente térmica de las viviendas con respecto al modelo de análisis de CCV para las tipologías 2 y 3

Tipología 2 (casas de rango de precio entre 131,000 y 98,000 €)



Tipología 3 (casas de rango de precio mayor a 262,000 €)



3.2. El caso de Barcelona

Del conjunto de 265 encuestas válidas en Barcelona, la inmensa mayor parte (un 78%) declaró estar dispuesta a pagar (DAP), mientras que sólo un 22% dijo no estar DAP por el cambio en la calificación energética.

De las 56 personas que dijeron no estar DAP, la inmensa mayor parte (43%) indicó que desconfiaba que las EPC fuesen un buen indicador del ahorro energético, otro 18% mencionó que ya pagaba demasiado por la vivienda, y un 14% que su economía no le permitía pagar más o que el ahorro ofrecido en la factura energética era insuficiente, finalmente un 11% dijo no importarle la eficiencia energética residencial.

Como se ve, por ende, el rechazo principal puede atribuirse a una desconfianza percibida por el esquema certificador, el cual puede deberse simplemente a su desconocimiento. La tabla inferior detalla la relación entre el nivel de conocimiento de las etiquetas EPC y tres principales categorías de la DAP: paga algo, no paga nada por desconfiar del esquema EPC y no paga por otras razones. Como se ve, existe una clara correlación entre la media de aciertos (i.e. nivel de conocimiento de las etiquetas) y el comportamiento declarado frente a un eventual sobrepago por la mejora energética ofrecida. Así, las personas que dijeron estar DAP algo por el cambio ofrecido (E->A), tuvieron 2,09 aciertos, mientras las que rechazaron pagar algo 1,79 para las que desconfían del esquema y 1,56 para las que declararon no estar DAP por otras razones. Este

análisis sugiere que efectivamente existe una relación entre el nivel de conocimiento de las EPC y la DAP, de forma que el nivel de desconocimiento va en el sentido de desvalorizar las viviendas más calificadas.

Tabla 3: DAP por la calificación energética según conocimiento del esquema EPC

		Respuesta			Total
		DAP>0	Desconfianza EPC	DAP=0 por otras razones	
Conocimiento EPC	Nulo	15	4	7	26
	Bajo	33	3	7	43
	Medio bajo	91	13	13	117
	Medio alto	59	2	3	64
	Alto	11	2	2	15
	Total	209	24	32	265
Aciertos		2,09	1,79	1,56	
Sig. de ANOVA			0,014		

Para poder determinar la DAP media es necesario discernir cuáles de las no-DAP responden a ceros verdaderos (i.e. las personas atribuyen importancia nula a la mejora energética) y cuales son ceros de protesta (i.e. las personas no revelan su verdadera DAP por otras razones). En concreto, aquellas personas que indicaron que no estaban DAP porque ya pagan mucho por la vivienda, porque su economía no se los permite o que no confiaban que la etiqueta energética sea un buen indicador del ahorro y emisiones de CO₂ fueron consideradas como ceros de protesta y, por ende, no se incluyeron en la determinación de la DAP media. En cambio, aquellas personas que no estaban DAP porque indicaron que no les importaba la eficiencia energética o consideraban que el cambio ofrecido era insuficiente fueron consideradas como ceros verdaderos. Tras realizar este análisis 44 casos han sido clasificados como de protesta y 12 como ceros verdaderos.

De media las personas están dispuestas a pagar 30,58 euros al mes adicional en la cuota hipotecaria o de alquiler por acceder a una vivienda calificada con “A” en lugar de “E”, siendo el valor mínimo (además de cero) 5 euros y el máximo 100. Por tanto, no se observan valores disparatados de forma que el valor de ahorro mensual de 30 euros mes ha servido de guía y contención de la DAP, si bien también ha “anclado” en torno así las respuestas. Aunque dicho anclaje es relativo, puesto que la existencia de una desviación estándar de 17,79 euros/mes es significativa de una cierta heterogeneidad en la cantidad que las personas encuestadas desearían pagar por beneficiarse de las mejoras energéticas.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo al Ministerio de Energía de Chile, el sector residencial representa el 21% de la energía total consumida a nivel nacional. Dada esta situación, resulta evidente que el mercado de viviendas representa un objetivo muy importante para reducir su impacto a nivel de consumo energético, especialmente para el caso de Santiago, cuya oferta privada ha fluctuado permanente entre las 30,000 y 40,000 unidades en los últimos años.

Una de las metodologías asociadas a la evaluación de la eficiencia energética corresponde al análisis del coste de ciclo de vida (CCV), el cual ha recibido un nuevo impulso de parte de la

Unión Europea gracias a la directiva del desempeño energético de edificaciones. Este tipo de análisis requiere una metodología compleja que incluye una herramienta de simulación energética y en la mayoría de los casos, un modelo de optimización. Este artículo presenta una nueva metodología basada en la combinación de una herramienta simplificada de cálculo del desempeño energético junto con otra detallada, con el objetivo de obtener una estimación robusta del CCV con bajo tiempo de procesamiento computacional. Por medio de este método, 3 tipologías arquitectónicas – representativas del mercado inmobiliario de casas en Santiago de Chile – fueron optimizadas en términos de su envolvente térmica, lo cual fue expresado por medio de una frontera eficiente con seis casos de interés seleccionados. De acuerdo a los resultados obtenidos, el caso óptimo se consigue con la incorporación de doble vidriado en ventanas y entre 80 y 90 mm de aislante térmico en los muros para las 3 tipologías. Luego, con el objetivo de evaluar la disposición a pagar (DAP) por las mejoras técnicas contenidas en el modelo de análisis del CCV, se realizó una encuesta donde se solicitó directamente indicar una cantidad utilizando el método de valoración contingente. Los resultados sugieren que una significativa proporción de los encuestados está dispuesto a pagar un valor que sobrepasa el sobre costo de la inversión en mejoras de envolvente térmica. Los resultados del modelo de regresión sugieren que esta disposición a pagar está positivamente influenciada por el nivel de ingresos (indirectamente evaluado por el rango de precio de la casa que están buscando para comprar), nivel educacional y aspectos demográficos, siendo los hogares con niños pequeños quienes estarían dispuestos a pagar más. Estos resultados tienen importantes implicancias en el diseño de políticas públicas con el objetivo de incrementar los niveles de eficiencia energética en nuevos desarrollos de vivienda.

En el caso español, del conjunto de respondientes, la inmensa mayor parte (78%) está dispuesto a realizar un sobrepago adicional por el alquiler o la cuota hipotecaria de una vivienda energéticamente cualificada en Barcelona. Lo cual es bastante relevante en un contexto de crisis como el que se vive en la actualidad en dicho país. Quienes no están DAP argumentaron, en primer lugar, una desconfianza en el esquema certificadorio EPC en relación a los ahorros en la factura energética y las emisiones de CO₂; si bien esta desconfianza está correlacionada con el desconocimiento de los EPC. Por tanto, el desconocimiento del esquema certificadorio genera desconfianza en él, y esto a su vez, produce una infravaloración de las viviendas más eficientes. La DAP media equivale a 30,58 euros adicionales al pago base de alquiler o hipoteca por el cambio “E” -> ”A” ofrecido.

Todo junto es una señal clara para el diseño de las políticas energéticas, puesto que no basta que exista una correcta aproximación técnica, sino que los beneficios de una vivienda más eficiente deben ser correctamente comprendidos por las personas en un lenguaje llano. Elementos necesarios para crear confianza en los consumidores, y por tanto, para que éstos prefieran las viviendas más eficientes y de esta manera se dinamice su construcción.

AGRADECIMIENTOS

El caso chileno de esta investigación se ha realizado con el financiamiento de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile, CONICYT, a través del Proyecto FONDECYT de Iniciación en Investigación 11130556: “Análisis y posicionamiento de los atributos de eficiencia energética y sostenibilidad en el mercado inmobiliario residencial de Santiago”. También ha contado con el apoyo del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), Proyecto CONICYT/FONDAP 15110020. Mientras que la investigación relativa al caso español provienen del proyecto BIA2015-63606-R (MINECO/FEDER) “EnerVALOR

¿Cuánto nos importa la calificación energética? Un análisis del nivel de comprensión de los EPC, confianza percibida e impacto sobre las preferencias y los valores residenciales”. Los autores agradecen a Rosa García Ramos su asistencia en el diseño de la encuesta española, así como al resto de personas que realizaron contribuciones en su concepción y realización.

5. REFERENCIAS

- Asiedu, Y., and P. Gu. 1998. “Product Life Cycle Cost Analysis: State of the Art Review.” *International Journal of Production Research* 36 (4).
- Barboza, M. (2016). Evaluación de costes y beneficios de una mayor cualificación energética en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona, tesis de máster, UPC.
- Caldera, Aida. 2012. *Building Blocks for a Better Functioning Housing Market in Chile*. OECD Econo. OECD Publishing. doi:10.1787/5k9fj3hgsnvh-en.
- Encinas, Felipe. 2015. “Atributos de Eficiencia Energética Y Sustentabilidad En El Mercado Residencial de Santiago de Chile: ¿Cómo Agregarle Valor Al Producto Inmobiliario?” In . Barcelona: Presentación en Coloquio de Economía Urbana y Valoraciones, Máster Universitario en Estudios Avanzados en Arquitectura, Línea Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Environmental Design Solutions Limited. 2016. “EDSL TAS.” <http://www.edsl.net/main/>.
- García-Erviti, F., J. Armengot-Paradinas, and G. Ramírez-Pacheco. 2015. “El Análisis Del Coste Del Ciclo de Vida Como Herramienta Para La Evaluación Económica de La Edificación Sostenible. Estado de La Cuestión.” *Informes de La Construcción* 67 (537): e056. doi:10.3989/ic.12.119.
- García-Navarro, J. Díaz, M. Valdivieso. M, (2014), «Estudio Precost&e»: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid, *Informes de la Construcción*, Vol. 66, 535:1-10.
- INE. 2015. *Informe Anual de La Edificación 2014*.
- ISO 13790. 2008. *Energy Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling*. Geneve: International Organization for Standardization.
- Marmolejo, Carlos (2016) La incidencia de la calificación energética sobre los valores residenciales: un análisis para el mercado plurifamiliar en Barcelona, *Informes de la Construcción*, en imprenta
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2016. “Observatorio Habitacional MINVU.” <http://www.observatoriohabitacional.cl/>.
- Official Journal of the European Union. 2010. “Directive 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast).”
- . 2012. “Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings by Establishing a Comparative Methodology Framework for Calculating.”
- UNE-EN15459. 2008. *Energy Performance of Buildings - Economic Evaluation Procedure for Energy Systems in Buildings*. Brussels: European Committee for Standardization.