

Tapia, D., Vera, S., González, M., Aguilar, C. (2024). Pronóstico preliminar de obsolescencia de la envolvente térmica e instalaciones de viviendas sociales en Chile usando Delphi. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

# DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE OBSOLESCENCIA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA E INSTALACIONES DE VIVIENDAS SOCIALES EN CHILE USANDO EL MÉTODO DELPHI

**Danilo Tapia Reed** <sup>1,2</sup> – [datapia2@uc.cl](mailto:datapia2@uc.cl)

**Sergio Vera Araya** <sup>1,2</sup> - [svera@ing.uc.cl](mailto:svera@ing.uc.cl)

**Marcelo González Hormazábal** <sup>1</sup> – [magonza7@uc.cl](mailto:magonza7@uc.cl)

**Carlos Aguilar Roldan** <sup>3</sup> - [caguilro@uc.cl](mailto:caguilro@uc.cl)

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Escuela de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile.*

<sup>2</sup>*Centro de Desarrollo Urbano Sustentable UC (CEDEUS).*

<sup>3</sup>*Investigador independiente.*

## RESUMEN

La escasez de viviendas y el impacto ambiental debido a la obsolescencia plantea desafíos que no han sido abordados con un enfoque a futuro en el contexto actual. Para solucionar este vacío, se ha propuesto un estudio de prospectiva tecnológica basado en el método Delphi que permita determinar futuros fenómenos de obsolescencia basados en cambios regulatorios ambientales con relación a la envolvente térmica y a las instalaciones de las viviendas sociales en Chile. Este estudio se realizó en dos fases, en las cuales se consultó a un grupo de expertos del área sustentabilidad y vivienda social sobre los tiempos de ocurrencia de afirmaciones relacionadas a estas temáticas. Como resultado, se evidenciaron consensos de opinión en control de infiltraciones, uso de cortinas rígidas de control solar y separación por capas de uso en elementos constructivos, evidenciándose además, en las otras afirmaciones evaluadas, tendencias respecto a los tiempos de ocurrencia que indican la necesidad de comenzar procesos de cambios normativos y tecnológicos importantes en el ámbito de vivienda social en Chile para poder disminuir impactos ambientales futuros debido al potencial desaprovechamiento de la vida útil de las viviendas construidas en la actualidad.

## **PALABRAS CLAVE**

Vida útil; Sustentabilidad; Reacondicionamiento; Estudios prospectivos; Impacto ambiental.

## **1. INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial, Naciones Unidas estima un déficit de mil millones de viviendas en países en vías de desarrollo y economías emergentes (United Nations Human Settlements Programme, 2018), siendo este un desafío importante para el logro del objetivo de desarrollo sostenible N°11 de las Naciones Unidas respecto al acceso a la vivienda y servicios básicos adecuados para todos (Naciones Unidas, 2018). En Chile, de forma similar, según proyecciones realizadas en base a datos del Censo 2017 por el Instituto Nacional de Estadísticas y la Cámara Chilena de la Construcción, en el período entre los años 2019 y 2035, se necesitarán 2,7 millones de nuevas soluciones habitacionales (CChC, 2019b).

### **1.1 IMPACTO AMBIENTAL**

En relación al calentamiento global, , según las proyecciones más pesimistas, puede llevar incluso a un aumento de la temperatura promedio, en comparación a la época preindustrial, mayor a 4,4°C a finales del siglo XXI, de no mediar cambios en el comportamiento de la humanidad respecto a las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), con todos los efectos en el ecosistema planetario que esto implica (Masson-Delmotte et al., 2021). Al respecto, se considera al sector edificación y construcción como el responsable de cerca del 40% de las emisiones GEI (UN Environment Programme, 2020), correspondiendo más de un 28% a la etapa de operación y más de un 11% a la etapa de fabricación de materiales y construcción (Wiche et al., 2020).

Las etapas de operación de la vivienda son las que presentan el mayor potencial de disminución de la emisión GEI en las economías emergentes (EE) (Cabeza et al., 2022), por lo que a medida que se vayan incorporando medidas que mejoren el desempeño energético durante éstas, el carbono incorporado dentro de los materiales y el proceso constructivo irán tomando cada vez mayor importancia, proyectándose impactos ambientales similares entre el carbono embebido y el operacional (Röck et al., 2020).

### **1.2 OBSOLESCENCIA**

La obsolescencia, considerada como el final de la vida útil de una vivienda, puede clasificarse de diversas formas, siendo la mas acuciosa la propuesta por Pourebrahimi, consistente en diez categorías que se superponen parcialmente al analizar algunos fenómenos (Pourebrahimi et al., 2020). De ellas, la obsolescencia física, producida por el deterioro de los componentes de una vivienda, la ambiental, referente a la importancia que está tomando el consumo energético y por tanto las emisiones de carbono en la etapa de uso de la vivienda, la obsolescencia legal, que ha mejorado el desempeño energético de las viviendas nuevas a medida que aparecen nuevas normativa nacionales y locales (como los planes de descontaminación ambiental), unida a la obsolescencia tecnológica, referente a la aparición de nuevos materiales con mejor performance, aparecen como factores principales del aumento de viviendas consideradas como

irrecuperables, las cuales se han cuantificado el año 2017, en base a distintas fuentes, entre 129.267 y 313.943 unidades (CChC, 2019a; Consejo Nacional de Desarrollo Urbano, 2021; Fundación Vivienda, 2018). Esta problemática ha sido abordada en parte por el Estado mediante subsidios a la demanda como el Programa de protección al patrimonio familiar y el Programa de mejoramiento de vivienda y barrios, los cuales se enfocan principalmente a viviendas en proceso de obsolescencia y deterioro que requieren ampliación y mejoramiento (Zaborido et al., 2011), siendo el presupuesto de estos programas para el año 2021, de M\$378.419.875, lo que corresponde al 21% del presupuesto total en subsidios (Dirección de Presupuestos, 2020). Una de las líneas de subsidio abordadas por estos programas, está enfocada en Obras de mejoramiento térmico, condicionado por su ubicación (VI a XII regiones) y antigüedad de la vivienda (solo viviendas cuyo certificado de Recepción Final sea anterior al 4 de enero del año 2007) (Zaborido et al., 2011).

### **1.3 REGLAMENTACIÓN TÉRMICA VIVIENDA CHILE**

La normativa vigente en Chile referente a la etapa de uso de la vivienda, la cual data del año 2007, establece únicamente parámetros referentes a la envolvente térmica de la vivienda con foco en las cargas de calefacción, dejando de lado varios aspectos referentes a las cargas de enfriamiento en temporadas cálidas, infiltraciones y otros (Tori et al., 2022). Una actualización a la normativa vigente fue promulgada recientemente (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2024). Dicha normativa establece parámetros de control de infiltraciones, transmitancia térmica de muros, pisos ventilados, techumbre, ventanas y sobrecimientos más restrictiva. Pese a ello, está lejos de las recomendaciones establecidas para los diversos climas del país en base a estudios realizados, y no considera las energías renovables ni eficiencia energética de los sistemas de climatización, iluminación y otros, tal como lo hacen los códigos energéticos de edificios a nivel mundial (Tori et al., 2022).

En complemento a lo anterior, desde el año 2023 es obligatorio en Chile que las viviendas nuevas estén calificadas en relación a su desempeño energético, procedimiento que, pese a ser obligatorio, solo cumple una finalidad informativa para los compradores de viviendas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019).

### **1.4 BRECHAS DE INVESTIGACIÓN**

De las diversas causas que producen la obsolescencia en las viviendas, la obsolescencia ambiental y normativa, producida principalmente por cambios normativos con enfoque a mejorar el confort térmico de las viviendas y descontaminar las ciudades, no han sido abordados por la literatura científica ni técnica con enfoque en los EE, lo cual es factible de abordar mediante un estudio de prospectiva tecnológica. Es importante hacer notar también que, debido a los cambios climáticos que se producirán en el futuro, la obsolescencia ambiental puede dejar fuera de estándares mínimos de confort a una cantidad importante de viviendas (Cabeza et al., 2022). Debido a ello, este estudio tiene como objetivo caracterizar los parámetros bajo los cuales una vivienda social en Chile puede sufrir obsolescencia tecnológica, ambiental y legal en referencia a la envolvente térmica y las instalaciones, analizando el impacto de dichos fenómenos.

## 2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

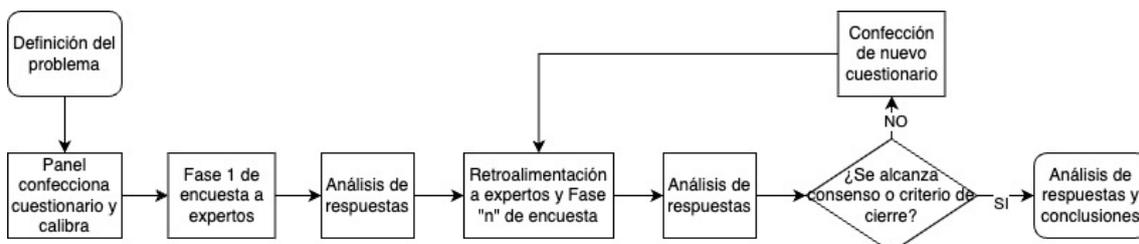
### 2.1 EL MÉTODO DELPHI

El método Delphi, desarrollado en la década de 1950 por la Corporación RAND para realización de estudios prospectivos relacionados a la defensa en Estados Unidos, basa su nombre en el oráculo de Delphos, en la antigua Grecia (Godet, 1995), y consiste en que un grupo de expertos, al ser consultados por algún fenómeno en sucesivas rondas, deben ir replanteando y cuestionando sus respuestas previo a responder nuevamente, lo que, unido a la retroalimentación de las respuestas grupales de la etapa anterior y al anonimato para evitar cualquier tipo de sesgos, produce consensos de opinión experta. Debido a ello, este método ha sido usado con éxito como una herramienta robusta de prospectiva tecnológica en el área construcción e ingeniería (Ameyaw et al., 2016), existiendo estudios en la determinación de estrategias para alcanzar comportamientos Net Zero en viviendas (Osunsanmi et al., 2024), aspectos de diseño arquitectónico sustentable (Alyami et al., 2013; Grover et al., 2020), administración de obras (Sourani & Sohail, 2015) y problemas de obsolescencia futura de las viviendas (Chen et al., 2017), entre otros.

Se realizó el diseño de la encuesta en base a la metodología Delphi, siguiendo las recomendaciones del estudio desarrollado por Beiderbeck en relación a que debe incorporarse tomadores de decisiones del área y que el diseño y conducción del estudio sea llevado a cabo por expertos del tema (Beiderbeck et al., 2021), siendo la redacción de las afirmaciones a consultar calibrada en conjunto con un grupo de investigadores, docentes y estudiantes de postgrado del área diseño sustentable, luego de lo cual se realizó un segundo proceso de calibración en conjunto con profesionales de distintas áreas para comprobar la correcta comprensión de las aseveraciones de la encuesta.

Para la selección de los expertos consultados en el estudio, se tuvo en cuenta diversos criterios, como interés por el tema, además de imaginación y creatividad (Acuña, 1990), pertenecer a los ámbitos laborales más diversos posibles (Giraldo, s. f., s. f.; Rowe & Wright, 2001), considerando las recomendaciones en relación a un número de expertos siempre mayor a 20 integrantes (Rowe & Wright, 2001) y la importancia de evitar fenómenos que inducen sesgos en las respuestas, como liderazgos de opinión y consensos por procesos de grupo, (Godet, 1995), para lo cual se elige realizar el estudio mediante un formulario online con la herramienta Google forms.

El detalle de la metodología utilizada aparece en la figura 1.



**Figura 1.** Detalle del método Delphi usado en el estudio.

### 3. RESULTADOS

Se aplicó la encuesta correspondiente a la primera etapa del estudio entre los meses de Septiembre y Octubre de 2023, consultando sobre la temporalidad de ocurrencia de 26 afirmaciones relacionadas a aspectos que definen la obsolescencia de las viviendas sociales, como elementos o sistemas constructivos, materialidades, procesos y sistemas de la vivienda (ej: instalaciones), de las cuales se seleccionaron 9 correspondientes a temáticas de envolvente térmica e instalaciones para este artículo. Se envió invitación por correo y redes sociales a académicos de diversas instituciones académicas nacionales, a los consultores inscritos en el registro de evaluadores energéticos (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2023), a las entidades patrocinantes de vivienda social MINVU, a los integrantes del registro de consultores MINVU en categorías afines a la vivienda social y sustentabilidad, y por último a los inscritos en el registro de constructores de vivienda social, modalidad privada y registro de contratistas MINVU en las categorías afines a vivienda social (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2023). La caracterización de los expertos participantes en el estudio se muestra en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Caracterización de los expertos participantes en Fase 1 y 2 según profesión.

<b>Profesión</b>	<b>Fase 1</b>	<b>Fase 2</b>
<b>Arquitecto</b>	36	23
<b>Constructor Civil - Ingeniero en Construcción</b>	12	12
<b>Ingeniero Civil</b>	18	13
<b>Otro</b>	11	4
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>52</b>

**Tabla 2.** Caracterización de los expertos participantes en Fase 1 y 2 según ocupación.

<b>Ocupación principal</b>	<b>Fase 1</b>	<b>Fase 2</b>
<b>Académicos</b>	12	9
<b>Construcción de viviendas sociales</b>	26	18
<b>Sector publico</b>	8	4
<b>Consultoría, Diseño y Gestión inmobiliaria</b>	31	21
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>52</b>

La encuesta también preguntó respecto a la deseabilidad de ocurrencia de las afirmaciones en una escala tipo *likert 1 a 5* y se realizaron preguntas para caracterizar a los expertos con relación a su profesión, ocupación principal y nivel de conocimiento respecto a vivienda social, diseño sustentable y economía circular.

Al finalizar la primera etapa del estudio, se recibió un total de 77 respuestas, luego de lo cual se envió a los expertos participantes la retroalimentación junto a una segunda encuesta. En esta se cambió la modalidad de pregunta, pasando de 5 rangos de años a elegir un año en concreto, desde 1 hasta 40, además de la opción “41 o más”. También se informó a los encuestados respecto al criterio de consenso buscado, que se alcanzaría al lograr una medida de tendencia central consistente en que el rango inter cuartil de las respuestas sea menor al 25% del rango máximo de las mismas ( $RIQ/R_{total} [\%]$ ), cumpliéndose con las recomendaciones de la literatura enfocadas en informar este criterio (Diamond et al., 2014). También, para optimizar los tiempos de respuesta por parte de los expertos, se eliminó las preguntas respecto a la deseabilidad de ocurrencia.

En las recomendaciones para responder la segunda encuesta, se indicó a los expertos que no es necesario que la respuesta sea idéntica a la de la primera etapa, promoviendo un mayor análisis en base al conocimiento grupal.

La segunda etapa contó con un total de 52 respuestas, entre noviembre de 2023 y marzo de 2024, luego de lo cual se procedió al cierre del estudio debido al término del plazo estipulado en un comienzo. La Tabla 3 muestra los resultados finales.

Se alcanzó consenso estadístico en un tercio de las afirmaciones evaluadas por los expertos, las cuales se analizan en el siguiente apartado. Para el cálculo de los factores involucrados en el consenso, se determinó no considerar las respuestas “41 años o más”, pues indican, a todas luces, la imposibilidad de ocurrencia de la afirmación tanto en el mediano como largo plazo. Esto se realizó en un total de 47 respuestas, de las 1430 totales que abarco el estudio (3,29% del total).

**Tabla 3.** Resultados al término del estudio.

AFIRMACIÓN	A Ñ O M Á X I M O R E D I A S ( d e 1 a 4 0 )	R E S P O N D I D A D E S T A D Í S T I C O [ % ]
"Se exigirá el uso de elementos que disminuyan las infiltraciones en las viviendas, como burletes, sellos en juntas de elementos constructivos (ejem: muro-radier)"	2 8 3 1	1 7 % 1

<b>"Se exigirá la separación de los componentes constructivos por capa de uso (recubrimiento interior y exterior, estructura, aislación, instalaciones, fundaciones) con el fin de permitir reparaciones o reemplazo de capas particulares sin involucrar modificaciones en las otras"</b>	2 1 0 4 3 7	1 9 %
<b>"Se exigirá el uso de sistemas de cortinas rígidas para el control solar, en la zona central del país"</b>	2 1 0 2 3 5	1 9 %
<b>"Se exigirá el cumplimiento de valores de transmitancia térmica adaptados a las proyecciones de cambio climático estimadas para fines del siglo XXI"</b>	2 1 0 0 3 3	2 6 %
<b>"Se exigirá el uso de materiales con inercia térmica, de forma tal que se permita un desempeño energo-térmico eficiente"</b>	2 1 0 2 3 5	2 6 %
<b>"Se exigirá que el sistema principal de calefacción de agua potable sea eléctrico (Termo o bomba de calor) en vez de alimentado por combustibles fósiles (Calefón)"</b>	2 1 0 4 3 7	2 6 %
<b>"Se exigirá el uso de materiales que puedan deconstruirse para su reutilización a nivel de componentes, mediante un banco público de materiales o un mecanismo similar"</b>	2 1 0 6 3 9	2 8 %
<b>"Se exigirá el uso de sistemas de aislación tipo EIFS en muros de albañilería y hormigón armado"</b>	2 9 0 3 3 2	3 3 %
<b>"Se exigirá el uso de ventanas tipo termo panel en toda la envolvente"</b>	2 1 0 0 3 3	3 6 %

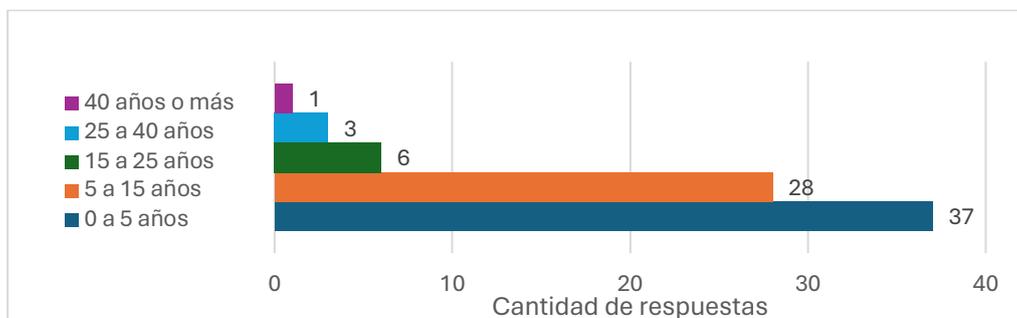
#### 4. DISCUSIÓN

A continuación, se discuten los resultados de cada una de las afirmaciones evaluadas, comenzando por las que alcanzaron el consenso deseado.

##### 4.1 "Se exigirá el uso de elementos que disminuyan las infiltraciones en las viviendas, como burletes, sellos en juntas de elementos constructivos (ej.: muro-radier)" (RIQ/R<sub>total</sub> = 17%, año 2031)

En la fase 1, un total de 37 expertos respondió que esta afirmación tendría lugar entre 0 a 5 años desde la realización del estudio, como se muestra en la Figura 2. En la Fase 2, esta pregunta llegó a consenso, siendo el RIQ=17% del rango total de respuestas para una

media de 8 años, es decir, el año 2031. Esto es consistente con la incorporación de medidas similares a la de la afirmación analizada en las normativas de los Planes de Descontaminación Ambiental ya vigentes en algunos lugares de Chile (Tori et al., 2022) y en la modificación del 27 de mayo de 2024 a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, Capítulo 4.1.10, que actualiza requerimientos de la envolvente térmica, cuya entrada en vigencia para viviendas esta fijada para el año 2025 (Ministerio de vivienda y Urbanismo, 2024), seis años antes del valor arrojado en el estudio.



**Figura 2.** Resultados Fase 1 de la afirmación "Se exigirá el uso de elementos que disminuyan las infiltraciones en las viviendas, como burletes, sellos en juntas de elementos constructivos (ejem: muro-radier)"

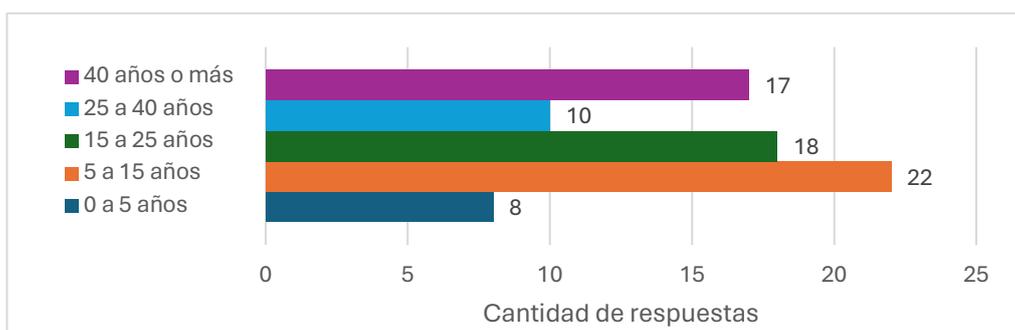
Es de suma importancia para la eficiencia energética de una vivienda el correcto control de las infiltraciones, definidas como el intercambio de aire entre el interior y exterior de la vivienda a través de su envolvente debido a errores de diseño y construcción. Por ejemplo, en Reino Unido, las infiltraciones son responsables de entre un 11 y 15% de la demanda energética de una vivienda y entre un 10 a 14% de sus emisiones de carbono (Jones et al., 2015). En Chile, hay reportes que muestran altas tasas de infiltración y pérdidas de calor de gran importancia, especialmente en las viviendas construidas previo al año 2007, en que comenzó a regir la reglamentación térmica de envolvente vigente hasta comienzos del 2024 (Molina et al., 2020, 2021). La nueva normativa de envolvente promulgada este año establece, como medida alternativa de cumplimiento respecto al control de infiltraciones, al *blower door test* y en algunos casos, la sola especificación de elementos constructivos que disminuyan las infiltraciones (Ministerio de vivienda y Urbanismo, 2024). Debido a las emisiones de carbono asociadas a las viviendas, para evitar la obsolescencia tecnológica y ambiental debido a las emisiones asociadas es necesario incorporar este tipo de soluciones lo antes posible en las viviendas nuevas, medida que será obligatoria en algunos meses más conforme a la nueva normativa.

#### 4.2 "Se exigirá la separación de los componentes constructivos por capa de uso (recubrimiento interior y exterior, estructura, aislación, instalaciones, fundaciones) con el fin de permitir reparaciones o reemplazo de capas particulares sin involucrar modificaciones en las otras" (RIQ/R<sub>total</sub> = 19%, año 2037)

En la fase 1, se mostró una dispersión de resultados en torno a tres rangos de tiempo (Figura 3), la cual fue incluida a modo de retroalimentación en la encuesta de la fase 2 con el fin de buscar consenso en base a la fase anterior. En la segunda fase, se llegó a una media de 14 años para la ocurrencia de la afirmación.

Este tipo de estrategia de economía circular en la vivienda, planteada originalmente por Brandt (Brand, 1995) y propuesta actualmente por la iniciativa público-privada Construye2025 el año 2021 para Chile (Sala Benites & Zegers Cádiz, 2021) es crucial para el avance de la industria nacional de la construcción hacia la economía circular y en la práctica implica promover la separación de los elementos que constituyen una vivienda según su uso y vida útil, lo que permite reemplazar y realizar trabajos interviniendo sólo aquellos elementos ya obsoletos, sin tener que intervenir el resto, como sucede actualmente debido a que distintas capas coexisten en un mismo elemento constructivo.

La separación de componentes por capas promueve una mayor durabilidad de los elementos con vida útil más prolongada, como elementos estructurales, lo que puede producir un costo inicial mayor en la vivienda, pero un mejor desempeño ambiental y económico durante el ciclo de vida de estos (Watt et al., 2023). El diseño por capas es una estrategia de adaptabilidad reconocida por evitar la obsolescencia temprana de las edificaciones (Gosling et al., 2013). Lamentablemente, al ser este aspecto analizado transversal a todo elemento constructivo de la vivienda, no es posible incorporarlo de forma posterior durante la etapa de uso de la vivienda, sin incurrir en su demolición total, debido a que la separación por capas debe estar incorporada desde el diseño mismo de la vivienda y de sus elementos constructivos.



**Figura 3.** Resultados Fase 1 de la afirmación “Se exigirá la separación de los componentes constructivos por capa de uso (recubrimiento interior y exterior, estructura, aislación, instalaciones, fundaciones) con el fin de permitir reparaciones o reemplazo de capas particulares”.

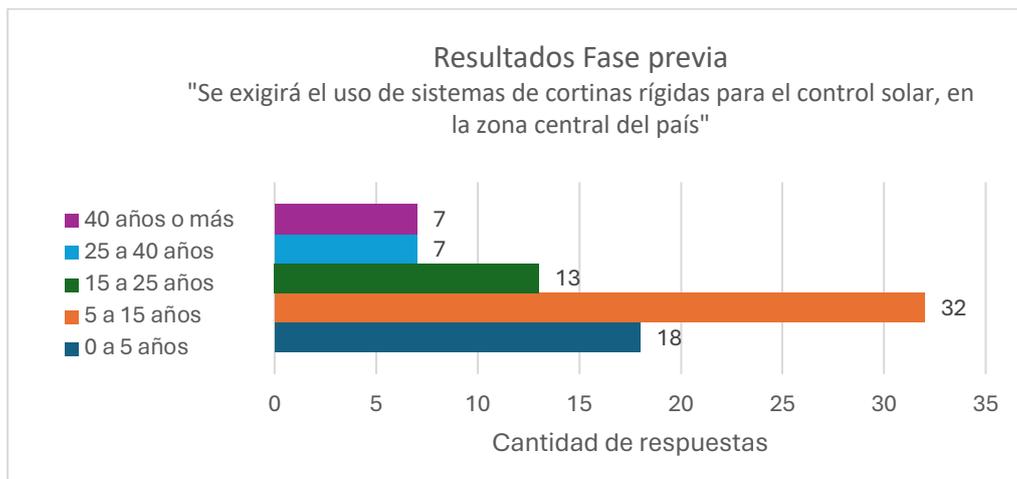
Vale la pena destacar la variación que tuvo la tendencia de resultados entre la primera y segunda fase, consiguiéndose el objetivo buscado por la metodología Delphi, que es la revisión a nivel personal de las respuestas entre las distintas fases, en búsqueda de consensos.

#### **4.3 "Se exigirá el uso de sistemas de cortinas rígidas para el control solar, en la zona central del país" (RIQ/R<sub>total</sub> = 19%, año 2035)**

En la fase 1, un total de 32 expertos respondió que esta afirmación tendría lugar entre 5 a 15 años desde la realización del estudio (Figura 3). La media en años de ocurrencia para esta afirmación es de 12 años. Al igual que en la primera afirmación analizada, la incorporación de estos elementos no reviste ningún trabajo de demolición de elementos constructivos, dado que puede ser agregada a la estructura existente sin mayores trabajos,

por lo que el impacto sobre el proceso de obsolescencia temprana tanto de ventanas como de estructura de muros, no reviste mayor importancia.

Para el desempeño actual y futuro en gran parte de Chile, el cambio climático producirá un incremento de temperaturas y las olas de calor serán más frecuentes, por lo que la incorporación de estos componentes de protección solar, usualmente instalados en el exterior de las ventanas, serán cruciales para disminuir ganancias solares en las estaciones cálidas e intermedias, permitiendo también, debido a su movilidad, no disminuir las ganancias en estaciones frías, reduciendo en total el consumo de energía y emisiones de carbono al optimizar el uso de los sistemas de calefacción y enfriamiento. Además, esto permitirá que en episodios de olas de calor, las personas estén menos expuestas a estrés térmico, reduciendo los riesgos para la salud.



**Figura 3.** Resultados Fase 1 de la afirmación " Se exigirá el uso de sistemas de cortinas rígidas para el control solar, en la zona central del país"

Las afirmaciones comentadas a continuación, pese a que no lograron el consenso estadístico definido, igualmente proveen información de alto valor para el objetivo de este estudio, pues, en mayor o menor grado, muestran tendencias importantes de discutir.

- a) **"Se exigirá el cumplimiento de valores de transmitancia térmica adaptados a las proyecciones de cambio climático estimadas para fines del siglo XXI" (RIQ/R<sub>total</sub> = 26%, año 2033).** Basados en simulaciones de los escenarios de cambio climático propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, se estima que en los peores escenarios, a finales del siglo XXI, se producirá un aumento de entre 6 a 8 °C en las temperaturas máximas en verano en gran parte del territorio chileno (Araya-Osses et al., 2020), lo que implica que gran parte del stock de viviendas a futuro podría quedar obsoleta en relación a su comportamiento energo-térmico debido al aumento de los estándares en este ámbito, ya que los actuales requerimientos sólo consideran el confort y eficiencia energética en la estación fría. Además, es necesario incorporar, a futuro, análisis de ciclo de vida mediante modelos de optimización para disminuir, en próximos estándares normativos, el impacto no solo en la etapa de uso, sino en la vida completa de la edificación (Larrea-Sáez et al., 2023).
- b) **"Se exigirá el uso de materiales con inercia térmica, de forma tal que se permita un desempeño energo-térmico eficiente" (RIQ/R<sub>total</sub> = 26%, año 2035).** Teniendo en consideración que dichos materiales, entre los que se

encuentran principalmente derivados del hormigón y albañilería, forman parte de la capa de estructura de una vivienda, la cual tiene una vida útil proyectada de como mínimo 30 años (Brand, 1995), se considera que, previo al fin de su vida útil, existirá la necesidad normativa de incorporar elementos masivos o de alta inercia térmica para un mejor comportamiento de las viviendas frente al aumento de temperaturas por el cambio climático y olas de calor, siendo probable el desaprovechamiento de parte de la vida útil de los elementos estructurales, especialmente en construcciones livianas de madera y acero liviano, a ser reemplazados, con el consiguiente impacto ambiental debido al carbono embebido de los elementos que los reemplacen.

- c) **"Se exigirá que el sistema principal de calefacción de agua potable sea eléctrico (Termo o bomba de calor) en vez de alimentado por combustibles fósiles (Calefón)" (RIQ/R<sub>total</sub> = 26%, año 2037).** Según Brandt (Brand, 1995), la capa de sistemas de la vivienda tiene una vida útil de como mínimo siete años, lo que implica que no existe un impacto en la obsolescencia de los sistemas instalados actualmente. Es discutible, además, la eficacia a nivel ambiental de realizar este cambio en la fuente de calefacción del agua caliente sanitaria previo al plazo señalado por los expertos, toda vez que coincide con la meta intermedia de la Política Energética de Chile para el 2050, que la sitúa el año 2035 (Ministerio de Energía de Chile, 2016) indicando que, para esa fecha, el 60% de la matriz eléctrica nacional provendrá de fuentes renovables. En consecuencia, es probable que el apurar este cambio tecnológico simplemente sirva para mover total o parcialmente la fuente de la emisión de gases efecto invernadero desde el calefón de la vivienda hasta la empresa de generación eléctrica, mas no evitarlo por completo.
- d) **"Se exigirá el uso de materiales que puedan deconstruirse para su reutilización a nivel de componentes, mediante un banco público de materiales o un mecanismo similar" (RIQ/R<sub>total</sub> = 28%, año 2039).** Esta estrategia está incorporada en la hoja de ruta de la iniciativa público-privada Construye2025 (Sala Benites & Zegers Cádiz, 2021) debido a que permite la adaptabilidad de las viviendas con el consiguiente mejoramiento del comportamiento ambiental de las viviendas (Watt et al., 2023). Cabe mencionar que, al igual que lo que ocurre con la separación por capas de uso en la vivienda, se considera que la no incorporación de este aspecto en los distintos elementos de la vivienda, como ocurre en la actualidad, promueve una obsolescencia temprana que no es posible de solucionar debido a que es transversal a todos los elementos constructivos de la vivienda.
- e) **"Se exigirá el uso de sistemas de aislación tipo EIFS en muros de albañilería y hormigón armado" (RIQ/R<sub>total</sub> = 33%, año 2032).** Este punto va de la mano con otras afirmaciones evaluadas, en relación al mejoramiento del comportamiento térmico de la envolvente. En la nueva normativa térmica para Chile, publicada en mayo de 2024, se aprecia la incorporación de soluciones de este tipo en la gran mayoría de las metodologías constructivas aprobadas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2024), mas no completamente, debido a que la nueva normativa no aborda de forma eficaz la existencia de puentes térmicos, por lo que se considera cumplido, de forma parcial, en un plazo mucho menor a la proyección del estudio.
- f) **"Se exigirá el uso de ventanas tipo termopanel en toda la envolvente" (RIQ/R<sub>total</sub> = 36%, año 2033).** Según la *National Association of Home Builders* (NAHB) de Estados Unidos, las ventanas de aluminio tienen una vida útil de 15 a

20 años (Seiders et al., 2006), siendo el tiempo promedio de obsolescencia declarado por los expertos ligeramente menor (9 años) debido a un fenómeno de obsolescencia regulatoria, lo que implica un desaprovechamiento de parte importante de la vida útil de estos elementos que comprenden las ventanas, con su consiguiente impacto ambiental al tener que realizar el reemplazo de dicho elemento previo al final de su vida útil. Esta afirmación, por lo demás, podría quedar sin aplicabilidad de fomentarse el uso de cortinas rígidas, toda vez que involucran el mismo elemento constructivo y con resultados complementarios al doble vidriado hermético.

## 5. CONCLUSIONES

La presente investigación, que incorpora el método Delphi como un elemento central del diagnóstico, permitió obtener información relevante para determinar la obsolescencia de envolventes térmicas e instalaciones de viviendas sociales en Chile.

Pese a no lograrse el consenso buscado para el total de las afirmaciones, el objetivo del estudio se considera cumplido, pues tres de las nueve afirmaciones analizadas alcanzaron el consenso estadístico definido y se aprecia que la información entregada por los expertos coincide, con mayor o menor convergencia, en tiempos de ocurrencia que indican que parte de los sistemas que refieren al desempeño energo-térmico de la vivienda van a quedar obsoletos en tiempos que anteceden a las vidas útiles máximas de los elementos involucrados. Este resultado tiene implicancias ambientales significativas ya que la consiguiente obsolescencia temprana de los distintos elementos constructivos, implica costos socio-ambientales y económicos, a causa de que se desaprovecha parte de la vida útil de la vivienda y se debe incorporar nuevos materiales en readecuaciones o restauraciones que, de haber existido una previsión respecto de estos cambios, serían innecesarios, disminuyendo de esta forma parte de la huella de carbono de la vivienda relacionado con el carbono embebido y ahorros estatales en subsidios de reacondicionamiento de viviendas sociales.

Es importante destacar que tanto el caso de las infiltraciones como las cortinas rígidas de protección solar implica elementos constructivos que pueden ser incorporados con menor dificultad y costos en las viviendas con posterioridad a su construcción sin involucrar la destrucción o demolición de elementos existentes de la envolvente. No obstante, este no es el caso de la separación por capas, la cual comprende transversalmente, tanto materiales como procesos constructivos distintos a los usados en la actualidad, especialmente en lo referente a uniones entre materiales e incluso a temas normativos referentes a instalaciones. Como ejemplo, la normativa eléctrica actual no permite el uso de canalizaciones al exterior del muro mediante bandejas de PVC en recintos húmedos (Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, 1971) lo que implica que es necesario comenzar a adaptar estos reglamentos para permitir la incorporación de estas metodologías constructivas. La separación por capas, el diseño para la deconstrucción y la adaptación de los estándares de transmitancia térmica de la envolvente a las proyecciones de cambio climático, deben comenzar a abordarse para su incorporación

inmediata en las regulaciones del sector, para de esta forma evitar la obsolescencia futura de gran parte de las viviendas.

Respecto a futuras investigaciones, es importante realizar en algún momento en el futuro la actualización de este estudio, especialmente con relación a la puesta en marcha de la nueva reglamentación térmica de viviendas. Junto con ello y en relación ca las limitaciones que tuvo este estudio respecto al tiempo de desarrollo, el número de etapas realizadas y a la disminución de expertos participantes entre una etapa y otra, se recomienda trabajar con una cantidad menor de expertos, organizados en cantidades proporcionales a las que participaron en esta versión del estudio, pero asegurando su compromiso a lo largo del mismo, permitiendo asegurar un 100% de participación en distintas etapas. Junto con ello, la realización de preguntas en formato numérico para el tiempo de ocurrencia, en vez de rangos temporales, demostró permitir un análisis estadístico más adecuado, por lo que se deberá considerar este tipo de respuestas, además de informar el criterio de consenso desde la primera fase.

Se considera importante, además, incorporar, en una versión futura de este tipo de estudios, la realización de escenarios complejos en que se pueda analizar la interacción entre la ocurrencia de distintas afirmaciones, como es el caso de los fenómenos transversales a todos los elementos constructivos de la vivienda, como la separación por capas o el diseño para deconstrucción, con elementos constructivos puntuales o materiales en particular.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Danilo Tapia y Sergio Vera agradecen el al proyecto ANID FONDAP 1522A00002

Danilo Tapia agradece el financiamiento del proyecto CORFO 23IR-246373

## 7. REFERENCIAS

Acuña, H. (1990). *Prospectiva para el Desarrollo*.

Alyami, S. H., Rezgui, Y., & Kwan, A. (2013). Developing sustainable building assessment scheme for Saudi Arabia: Delphi consultation approach. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 27, pp. 43–54). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.011>

Ameyaw, E. E., Hu, Y., Shan, M., Chan, A. P. C., & Le, Y. (2016). Application of Delphi method in construction engineering and management research: A quantitative perspective. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 991–1000. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.945953>

Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J. M., & Paneque, M. (2020). Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54(9–10), 4309–4330.  
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05231-4>

Beiderbeck, D., Frevel, N., von der Gracht, H. A., Schmidt, S. L., & Schweitzer, V. M. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *Technological Forecasting and Social Change*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120577>

- Brand, S. (1995). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin Books. <https://archive.org/details/howbuildingslear00bran>
- Cabeza, L. F., Bai, Q., Bertoldi, P., Kihila, J. M., Lucena, A. F. P., Mata, É., Mirasgedis, S., Novikova, A., & Saheb, Y. (2022). *IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017-9781009157926>
- CChC. (2019a). *Balance De La Vivienda Y Entorno Urbano 2019*.
- CChC. (2019b). *Fundamenta 45 - Gerencia de Estudios CChC El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global*.
- Chen, C. J., Juan, Y. K., & Hsu, Y. H. (2017). Developing a systematic approach to evaluate and predict building service life. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(7), 890–901. <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1341956>
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano. (2021). *Propuestas para la regeneración urbana de las ciudades chilenas*.
- Diamond, I. R., Grant, R. C., Feldman, B. M., Pencharz, P. B., Ling, S. C., Moore, A. M., & Wales, P. W. (2014). Defining consensus: A systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 67(4), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.12.002>
- Dirección de Presupuestos. (2020). *Proyecto de Ley de presupuestos 2021*. <https://www.dipres.gob.cl/597/w3-multipropertyvalues-14766-25771.html>
- Fundación Vivienda. (2018). *Déficit habitacional cuantitativo*.
- Giraldo, O. G. (s. f.). *Guía de aplicación del Método Delphi, Prospectiva Cualitativa Laboral*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3439.4004>
- Godet, M. (1995). *De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva y estrategia*. Ediciones Alfaomega.
- Gosling, J., Sassi, P., Naim, M., & Lark, R. (2013). Adaptable buildings: A systems approach. *Sustainable Cities and Society*, 7, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.11.002>
- Grover, R., Emmitt, S., & Copping, A. (2020). Trends in sustainable architectural design in the United Kingdom: A Delphi study. *Sustainable Development*, 28(4), 880–896. <https://doi.org/10.1002/sd.2043>
- Jones, B., Das, P., Chalabi, Z., Davies, M., Hamilton, I., Lowe, R., Mavrogianni, A., Robinson, D., & Taylor, J. (2015). Assessing uncertainty in housing stock infiltration rates and associated heat loss: English and UK case studies. *Building and Environment*, 92, 644–656. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.033>
- Larrea-Sáez, L., Cuevas, C., & Casas-Ledón, Y. (2023). Energy and environmental assessment of the Chilean social housing: Effect of insulation materials and

- climates. *Journal of Cleaner Production*, 392.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136234>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B., & (eds.). (2021). IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. En *Cambridge University Press. In Press*.
- Ministerio de Energía de Chile. (2016). *Energía 2050 - Política energética de Chile*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2019). *Manual de procedimientos para la Calificación Energética de Viviendas en Chile*.  
<https://www.calificacionenergetica.cl/media/Res-N%C2%B0-1234-Manual-CEV-24.05.19.pdf>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2023). *Registros Técnicos - Por Inscripción*.  
Ministerio de Vivienda y Urbanismo.  
<https://appregistrostecnicos.minvu.cl/inscripcion.aspx>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2024). *ED12 | 2024 Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.  
<https://www.minvu.gob.cl>
- Ministerio de vivienda y Urbanismo. (2024). *Diario Oficial – República de Chile*.  
Ministerio del Interior y Seguridad Pública.  
<https://www.diariooficial.interior.gob.cl/edicionelectronica/index.php?date=27-05-2024&edition=43860>
- Molina, C., Jones, B., Hall, I. P., & Sherman, M. H. (2021). CHAARM: A model to predict uncertainties in indoor pollutant concentrations, ventilation and infiltration rates, and associated energy demand in Chilean houses. *Energy and Buildings*, 230.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110539>
- Molina, C., Kent, M., Hall, I., & Jones, B. (2020). A data analysis of the Chilean housing stock and the development of modelling archetypes. *Energy and Buildings*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109568>
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. En *Publicación de las Naciones Unidas*.
- Osunsanmi, T. O., Gillies-Denning, E., Khaddour, L. A., Olawumi, T. O., & Moobela, C. (2024). Framework for the UK construction industry transition to net zero design: a Delphi techniques and structural equation model approach. *International Journal of Construction Management*.  
<https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2337143>
- Pourebrahimi, M., Eghbali, S. R., & Pereira Roders, A. (2020). Identifying building obsolescence: towards increasing buildings' service life. *International Journal of*

*Building Pathology and Adaptation*, 38(5), 635–652.

<https://doi.org/10.1108/IJBPA-08-2019-0068>

Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes (1971).

Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., & Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258(October 2019), 114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>

Rowe, G., & Wright, G. (2001). *Expert opinions in forecasting: The role of the Delphi technique*.

Sala Benites, H., & Zegers Cádiz, C. (2021). *Portafolio de modelos de negocio en economía circular para la construcción: Informe final de la consultoría. Iniciativa de la Hoja de Ruta RCD y Economía Circular en Construcción*.

Seiders, D., Ahluwalia, G., Melman, S., Quint, R., Chaluvadi, A., Liang, M., Silverberg, A., & Bechler, C. (2006). *Study of Life Expectancy of Home Components*.

Sourani, A., & Sohail, M. (2015). The Delphi Method: Review and Use in Construction Management Research. *International Journal of Construction Education and Research*, 11(1), 54–76. <https://doi.org/10.1080/15578771.2014.917132>

Tori, F., Bustamante, W., & Vera, S. (2022). Analysis of Net Zero Energy Buildings public policies at the residential building sector: A comparison between Chile and selected countries. *Energy Policy*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112707>

UN Environment Programme. (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. En *Global Status Report*.

United Nations Human Settlements Programme. (2018). *Tracking Progress Towards Inclusive, Safe, Resilient and Sustainable Cities and Human Settlements*. United Nations.

Watt, H., Davison, B., Hodgson, P., Kitching, C., & Danielle's, D. T. (2023). What should an adaptable building look like? *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200158>

Wiche, P., Rodriguez, B., & Bianchi, D. (2020). *Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: Resumen para Tomadores de decisiones. Publicado por instituto de la Construcción*.

Zaborido, M., Larenas, J., & Zamorano, H. (2011). *Informe Final - Programa de Protección al Patrimonio Familiar*.

