RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DEBIDO AL USO DE LEÑA EN VIVIENDAS

DOCUMENTO PARA POLÍTICA PÚBLICA

CEDEUS
Centro de Desarrollo Urbano Sustentable

Febrero 2024
Nº33

RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DEBIDO AL USO DE LEÑA EN VIVIENDAS

© Centro de Desarrollo Urbano Sustentable CEDEUS

Autor
François Simon
Waldo Bustamante

Cómo citar este documento:

Simon, F., Bustamante, W., (2024).
Recomendaciones para reducir la contaminación del aire debido al uso de leña en viviendas.
Documento para Política Pública Nº33. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago.
https://doi.org/10.7764/cedeus.dpp.33

Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)
Primera edición
Febrero 2024 / Nº33

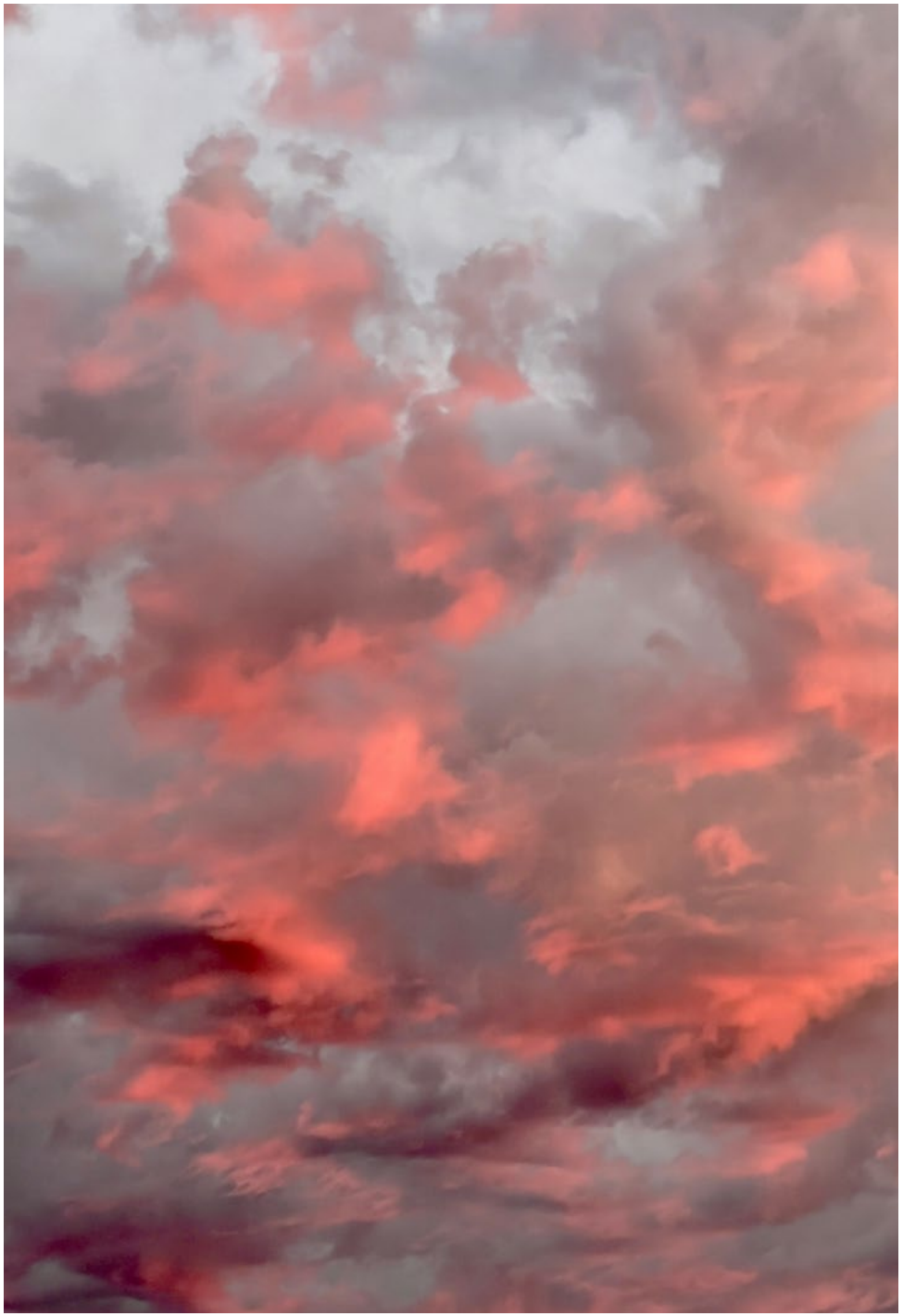
RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DEBIDO AL USO DE LEÑA EN VIVIENDAS

DOCUMENTO PARA POLÍTICA PÚBLICA

CEDEUS
Centro de Desarrollo Urbano Sustentable

PUNTOS CENTRALES

Este documento presenta evidencia sobre la contaminación del aire causada por partículas de 2,5 µm ($MP_{2,5}$) debido a la quema de leña en el sector residencial, excluyendo otras fuentes estacionarias y móviles, y su impacto en la salud pública y el entorno construido. Un estudio de caso en Temuco se presenta para ilustrar la problemática. Se analizan los marcos de políticas vigentes y se exploran oportunidades para la implementación de nuevas estrategias y políticas públicas capaces de reducir esta contaminación del aire.



Atardecer en Temuco. Fotografía: @Foxunno, unsplash.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por partículas inhalables finas ($MP_{2,5}$) reduce la esperanza de vida promedio mundial en 2,2 años en comparación con un mundo que hubiera cumplido con el estándar de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (5 µg/m³) (Greenstone & Hasenkopf, 2023). En Chile, más de 10 millones de personas (53% de la población) están expuestos a concentraciones ambientales de $MP_{2,5}$ por encima del estándar nacional (20 µg/m³) (MMA, 2020). En 2018, se relacionaron 3640 casos de mortalidad prematura causadas por la contaminación del aire (MMA, 2019). La Figura 1 muestra que todas las áreas urbanas más grandes del país tienen una concentración media anual de $MP_{2,5}$ superior al estándar de la OMS, con concentraciones anuales más altas en lugares con mayor demanda de calefacción (Villalobos et al., 2017). Este documento incluye un estudio de caso centrado en la ciudad de Temuco, el cual recopila información de diversos estudios científicos para ilustrar la magnitud del problema.

El documento enfatiza la necesidad de mejorar el acondicionamiento térmico de los edificios para reducir los consumos de calefacción y, por ende, las emisiones de contaminantes atmosféricos. Finalmente, el documento presenta una serie de recomendaciones para la política pública que deben ser implementadas en múltiples escalas y áreas, incluyendo medidas de regulación térmica de edificios, incentivos financieros y formación de capital humano para abordar la contaminación por partículas en Chile.

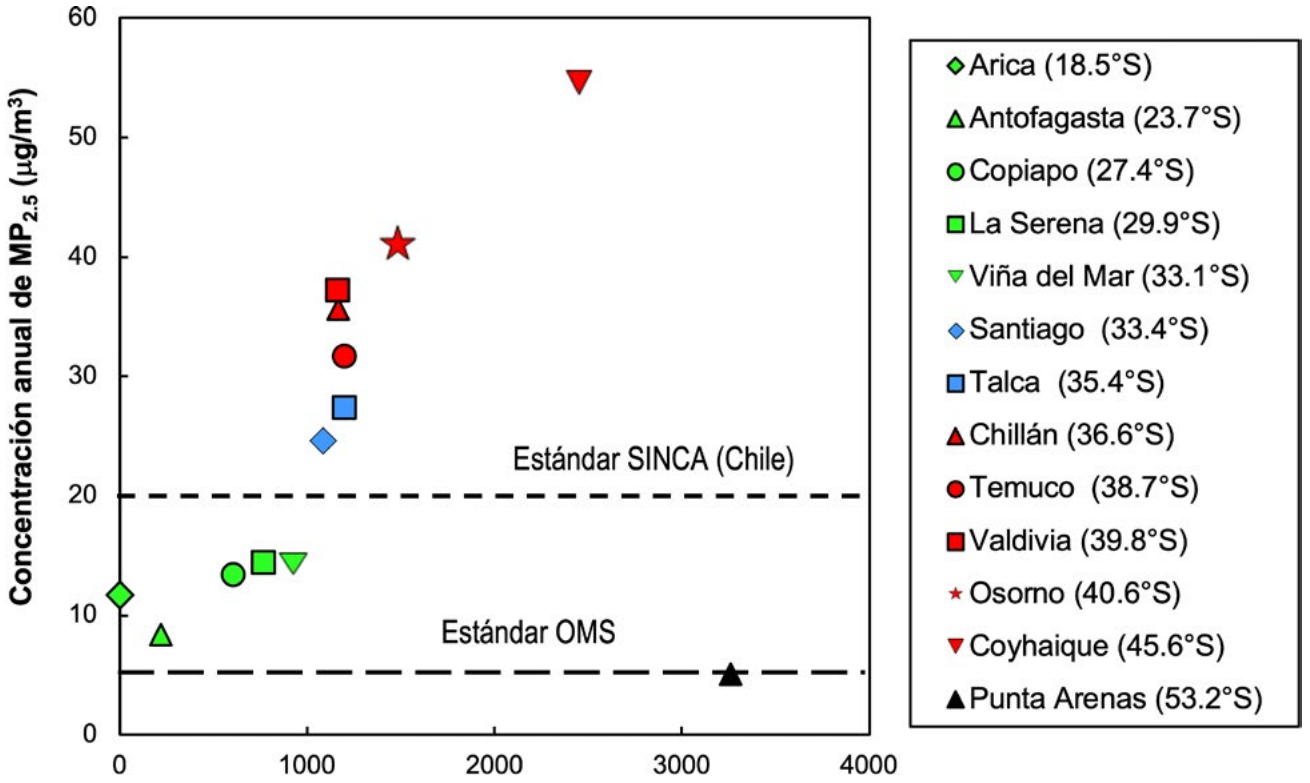


Figura 1. Concentraciones ambientales anuales de MP2,5 (promedio para 2016-2018) en ciudades chilenas en función de sus grados-días de calefacción. Las líneas horizontales muestran los estándares de calidad del aire nacional (MMA, 2010) e internacional (WHO, 2021). Adaptado de Villalobos et al. (Villalobos et al., 2017).

ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA POLÍTICA PÚBLICA

La crisis climática provocada por el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, debido al uso de energías fósiles como el petróleo, el carbón y el gas, nos obliga a ser más responsables en cuanto al uso de la energía en el futuro y emprender una transición energética. Esta transición, fundamental para abordar la crisis climática, implica no solo cambiar a fuentes de energía más limpias, como la solar, eólica, undimotriz y la energía nuclear, sino también conservar y utilizar la energía de manera más eficiente en todos los aspectos de la vida diaria. Reducir los consumos de energía es tan significativo como la adopción de fuentes limpias, y esta combinación de esfuerzos es crucial para disminuir nuestra huella ambiental, reducir la contaminación del aire, y lograr un futuro más sustentable (IPCC, 2022).

La Tabla 1 compila información de la literatura sobre los impactos, las causas y los planes actuales de acción asociados con la contaminación del aire debido al uso de leña en viviendas chilenas (Simon et al., 2023).

La literatura científica reconoce de manera significativa el potencial del acondicionamiento térmico para reducir el consumo de energía (Alavirad et al., 2022; Chidiac et al., 2011; Paiho et al., 2015; Webb, 2017) y mejorar el confort higrotérmico[1] en interiores (Lu et al., 2021; Martínez-Molina et al., 2016). Simultáneamente, el acondicionamiento térmico contribuye a la reducción de emisiones de partículas finas y gases de efecto in-

Tabla 1. Contaminación del aire debido al uso de leña en viviendas: impactos, causas y planes actuales de acción.

Escenario	Ciudad
Impactos	Existen relaciones positivas entre los niveles de partículas en el aire y las tasas de mortalidad y morbilidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Díaz-Robles et al., 2015).
	La exposición prolongada a la contaminación del aire por partículas de 2,5 µm ($MP_{2,5}$) se asocia con un mayor riesgo de cáncer de bronquios y pulmones (Zhang et al., 2020; Zhao et al., 2023).
	La exposición a un aire contaminado con humo de leña se asocia con un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Díaz-Robles et al., 2015).
Causas	Hay una demanda significativa de calefacción en el centro-sur de Chile (Simon et al., 2019) debido al clima frío y húmedo (Bustamante et al., 2009a).
	Las viviendas tienen un bajo rendimiento energético (Bustamante et al., 2009b; Flamant et al., 2022; Simon, 2017).
	El 80% de las viviendas tienen poco o ningún aislamiento térmico (InData SpA & CDT, 2019).
	La leña es la principal fuente de energía para la calefacción en viviendas del centro-sur de Chile (Jorquera et al., 2018): Debido a la abundante presencia de bosque local (Simon et al., 2021), la leña es la fuente de energía más económica y accesible (Rojas et al., 2022).
	La quema de leña es la principal fuente de $MP_{2,5}$ en ciudades del centro-sur de Chile (Díaz-Robles et al., 2015; MMA, 2019).
	Se utilizan chimeneas abiertas y estufas de bajo rendimiento térmico (InData SpA & CDT, 2019).
Planes actuales de acción	La normativa de regulación térmica de la edificación, que se encuentra en el Artículo N°4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) (MINVU, 2011), establece niveles de exigencia muy inferiores en comparación con los reglamentos térmicos en vigor en otros país de la OCDE (Tori et al., 2022).
	En ciudades declaradas altamente contaminadas, se aplican los Planes de Prevención y/o Descontaminación del Aire (PPDA), que otorgan subsidios para el acondicionamiento térmico de viviendas existentes y el cambio de sistemas de calefacción. Los reacondicionamientos térmicos bajo PPDA deben cumplir con estándares de aislamiento más altos que los de la OGUC (MINVU, 2021).

Fuente: Elaboración propia.

[1] Sensación subjetiva de satisfacción con las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire.

vernadero debido a una menor demanda de energía. Por lo tanto, se considera como un medio efectivo para abordar directamente la crisis climática (IPCC, 2022). Además, el reacondicionamiento térmico de edificios existentes suele ser más económico y tiene un menor impacto ambiental que la demolición y reconstrucción (Dong et al., 2005; Hawkins & Mumovic, 2017; Marique & Rossi, 2018; Morelli et al., 2014; Shirazi & Ashuri, 2020).

Los procedimientos habituales de acondicionamiento térmico para edificios nuevos o existentes generalmente implican los siguientes pasos: primero, se realiza una auditoría energética del edificio en cuestión; luego, se lleva a cabo una evaluación y diagnóstico de su rendimiento para identificar las áreas donde se está desperdiciando energía; finalmente, se realiza un análisis económico para seleccionar la mejor opción de acondicionamiento basada en su potencial de rentabilidad (Deb & Schlueter, 2021; Ma et al., 2012). Las intervenciones de acondicionamiento térmico incluyen:

a) Mejorar el aislamiento térmico de la envolvente, lo cual involucra la instalación de materiales aislantes en muros, pisos y techumbres, así como también la instalación de ventanas de vidrio múltiple de baja emisividad (termopanel) y persianas para evitar sobrecalentamiento en verano;
b) Mejorar la hermeticidad al aire de la envolvente para limitar las pérdidas de energía térmica. Esta intervención requiere la implementación de medidas que reducen las infiltraciones de aire, junto con un sistema de control de la ventilación (ya sea ventilación natural, mecánica de flujo simple autorregulable o ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor) para garantizar una renovación eficiente y efectiva del aire interior;
c) Implementar sistemas de energía renovable, como bombas de calor geotérmicas o aerotérmicas, paneles solar térmicos y fotovoltaicos, y equipos de iluminación y electrodomésticos de bajo consumo energético.

En la práctica, sin embargo, mejorar de manera efectiva el rendimiento energético de un edificio requiere una combinación adecuada de estas intervenciones. Esto dependerá de las características arquitectónicas y térmicas específicas del edificio y de las condiciones climáticas. Por lo tanto, es esencial diseñar los procesos de acondicionamiento térmico de manera que sean rentables tanto en términos de eficiencia energética como de costos. Con este fin, se necesita un enfoque integral para facilitar la implementación coordinada de las diversas intervenciones mencionadas (Sebi et al., 2019).

Recientemente, Chile ha dado pasos significativos en el desarrollo de instrumentos de política pública para reducir los consumos de energía en el sector residencial. En 2021, se promulgó la Ley 21305 sobre Eficiencia Energética (Ministerio de Energía, 2021a), que allanó el camino para la elaboración del Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026 (Ministerio de Energía, 2021b). Este plan establece metas para la reducción de la demanda de energía térmica en el sector residencial y presenta una serie de medidas destinadas a lograr estos objetivos. Entre las iniciativas, se encuentran la actualización de los estándares de eficiencia energética de las edificaciones y la promoción del acondicionamiento térmico de viviendas existentes (Ministerio de Energía, 2021b). Sin embargo, hasta la fecha, no se ha



Figura 2. Contaminación del aire por humo de leña en Temuco, junio 2020. David Cortes Serey/AgenciaUno (Fernández, 2020).

implementado una regulación térmica rigurosa para las construcciones nuevas, ni mecanismos de incentivos financieros a gran escala para la renovación térmica de los edificios existentes.

CASO DE ESTUDIO: TEMUCO

Temuco-Padre Las Casas es una aglomeración urbana de casi 400,000 habitantes ubicada en la región de La Araucanía, que se caracteriza por episodios severos de contaminación del aire (Figura 2). Las principales causas de este fenómeno se detallan en la Tabla 1. Además, la situación se agrava debido a la morfología del terreno y las condiciones atmosféricas en la cuenca de Temuco, especialmente la baja velocidad del viento que dificulta la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Por lo tanto, la aglomeración está regularmente declarada "saturada" debido a concentraciones de $MP_{2,5}$ que exceden los estándares nacionales diarios y anuales. La Figura 3 muestra la evolución mensual de $MP_{2,5}$ ambiental medido en la aglomeración desde 2013. Los promedios anuales están muy por encima del estándar de la OMS, establecido en 5 µg/m³ (WHO, 2021), y exceden el estándar chileno fijado en 20 µg/m³ (MMA, 2010). La concentración de $MP_{2,5}$ ambiental varía estacionalmente, con valores más altos en la temporada de invierno, cuando el 85% de $MP_{2,5}$ proviene de la quema de leña (Figura 4) (Villalobos et al., 2017).

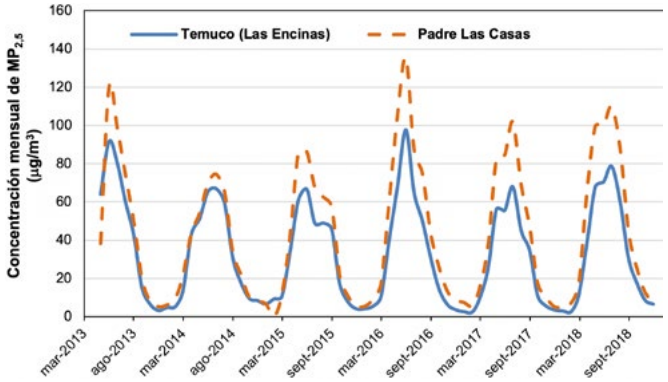


Figura 3. Evolución de la concentración mensual de $MP_{2,5}$ ambiental 24 horas medido en las estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas, de marzo de 2013 a diciembre de 2018. Datos obtenidos de http://sinca.mma.gob.cl.

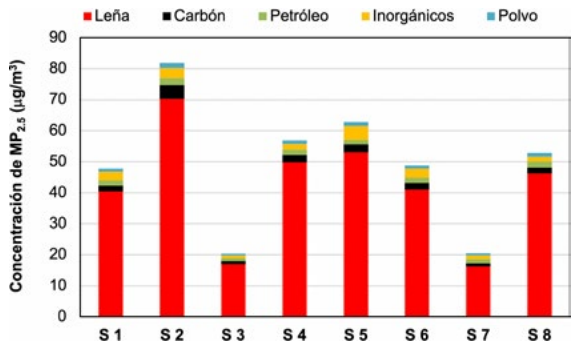


Figura 4. Distribución de fuentes de $MP_{2,5}$ en Temuco para la temporada de invierno 2014 (del 15 de julio al 13 de septiembre). Modificado de Villalobos et al. (2017).

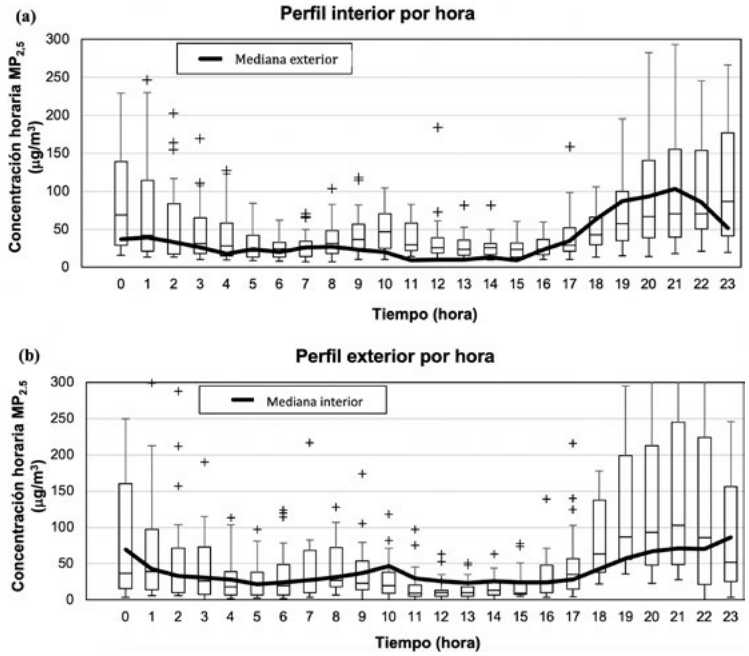


Figura 5. Comparación de mediciones horarias de $MP_{2,5}$ en el interior (a) y exterior (b) para 25 viviendas en Temuco. Modificado de Jorquera et al. (Jorquera et al., 2018).

En cuanto a los espacios interiores, la situación es igualmente preocupante. Una campaña de medición en 63 hogares realizada durante el invierno de 2014 en la aglomeración urbana de Temuco (Jorquera et al., 2018) mostró que las concentraciones de $MP_{2,5}$ en interiores tienden a equilibrarse rápidamente con las del exterior, pero la concentración mediana de $MP_{2,5}$ en interiores sigue siendo en promedio un 10% más alta que el valor mediano en exteriores. Jorquera et al. (2018) muestran que el 68% del $MP_{2,5}$ en interiores proviene de la infiltración desde el exterior, lo que resalta la deficiente hermeticidad al aire de las viviendas. La Figura 5, que compara datos horarios de concentraciones de $MP_{2,5}$ en interiores y exteriores, muestra que las concentraciones medianas en interiores son más altas que las medianas en exteriores, excepto entre las 16.00 horas y las 22.00 horas, cuando se encienden equipos de calefacción y cocina alimentados con leña.

Para mejorar la calidad del aire, las políticas públicas actuales financian incentivos para (1) mejorar el aislamiento térmico de las viviendas y (2) reemplazar las estufas antiguas por otras más eficientes. Ambas medidas se aplican bajo condiciones de postulación definidas en los Planes de Prevención y Descontaminación del Aire (PPDA) vigentes en las principales áreas urbanas del país. Cuando la primera medida tiene un impacto directo en la cantidad de leña consumida, la segunda cobra sentido, considerando que la combustión de leña con condiciones óptimas de entrada de aire puede generar hasta 10 veces menos emisiones de contaminantes en comparación con una combustión con entrada de aire insuficiente (López González, 2016; Roos, 2008; SICAM Ingeniería, 2015). Las campañas del PPDA en Temuco-Padre Las Casas entre 2012 y 2021 llevaron al cambio de más de 16,800 estufas de leña (MMA, 2021), y al reacondicionamiento térmico de casi 19,300 hogares (MMA, 2022), lo que equivale a aproximadamente el 15% de las viviendas en la aglomeración.

RECOMENDACIONES

1. Acondicionamiento térmico de viviendas existentes

Los estudios previos indican que es factible reducir la contaminación del aire derivada de la combustión de leña al mejorar el rendimiento térmico de las viviendas y, de esta manera, reducir su demanda de calefacción. En el contexto de la crisis climática, la prioridad absoluta debe centrarse en acelerar el acondicionamiento térmico de todas las viviendas y concienciar a los diferentes actores sobre los beneficios de la renovación energética. Como se mencionó anteriormente, para que esta medida sea efectiva, es esencial dar prioridad a los reacondicionamientos térmicos más profundos, especialmente aquellos que combinan aislamiento térmico de la envolvente, hermeticidad al aire y control de la ventilación en edificios con mayor demanda de calefacción (Thomsen et al., 2016). Dado que la mayoría de las intervenciones de acondicionamiento térmico requieren apoyo económico, los incentivos financieros, en forma de subvenciones, reembolsos, préstamos preferenciales o créditos fiscales, son herramientas eficaces para aliviar la carga económica de los propietarios y fomentar el inicio de las renovaciones energéticas (Bobrova et al., 2022).

En este sentido, los subsidios al reacondicionamiento térmico de edificios y al recambio de estufas de leña disponibles a través de los PPDA deben mantenerse, ya que han demostrado ser eficaces en la reducción del $MP_{2,5}$ ambiental en varias ciudades chilenas altamente contaminadas, incluyendo Temuco, donde se ha observado una disminución de 2,2 $\mu g/m^3$ por año (Jorquera, 2021). Sin embargo, hay margen para mejorar la situación y alcanzar niveles de $MP_{2,5}$ dentro de rangos saludables. Para lograrlo:

a) Es fundamental llevar a cabo simultáneamente el reacondicionamiento térmico y el recambio de calefactor en una misma vivienda. Realizar únicamente el reemplazo del calefactor sin implementar el acondicionamiento térmico resulta contraproducente, ya que puede llevar a un aumento del gasto energético del hogar y una disminución del confort higrotérmico. Por ejemplo, las bombas de calor no son adecuadas para edificios con aislamiento térmico deficiente y hermeticidad al aire insuficiente. Debido a que operan con bajas diferencias de temperatura, estas bombas de calor son más eficientes en edificios bien aislados y herméticos. Asimismo, sobredimensionar otros sistemas bajos en carbono debido a que los edificios continúan siendo ineficientes carece de sentido en el contexto de la transición energética.

b) La elegibilidad para recibir estas subvenciones al reacondicionamiento térmico debe ampliarse para abarcar a un mayor número de hogares (Pávez et al., 2020). Es especialmente importante dirigir estos incentivos hacia los hogares más vulnerables y también hacia aquellos en áreas rurales que enfrenten problemas de contaminación del aire similares.

c) Las metas de acondicionamiento térmico y reemplazo de calefactores establecidas en los PPDA, así como los presupuestos asignados para estas medidas, deben ser ajustados para tener en cuenta la cantidad total de edificios existentes que tienen bajo rendimiento energético y que requieren intervención.

d) Dado que el Ministerio de Energía ha establecido ambiciosas metas nacionales para la electrificación de sistemas energéticos domésticos (Ministerio de Energía, 2021c) y ha implementado nuevas regulaciones de seguridad para las renovaciones de sistemas eléctricos (Ministerio de Energía, 2020), es esencial considerar la implementación de un subsidio similar para fomentar la renovación de instalaciones eléctricas domésticas obsoletas y prevenir riesgos de fallas eléctricas en el futuro.

2. Mejorar los estándares térmicos de las nuevas construcciones

Para reducir la demanda de calefacción en las nuevas construcciones y lograr edificaciones más eficientes desde el punto de vista energético, se deben implementar políticas nacionales a largo plazo. Estas políticas deben ser integrales e incluir el establecimiento de un nuevo código térmico regulatorio para las nuevas construcciones que apunte al nivel de rendimiento de edificios de energía neta cero (NZEB, por sus siglas en inglés). El diseño de este nuevo marco regulatorio debe establecer el camino para que el sector residencial cumpla con las metas fijadas en el Plan Nacional de Eficiencia Energética (Ministerio de Energía, 2021b). Este código deberá incorporar estándares rigurosos de eficiencia energética, que se reflejarán en requisitos técnicos y restricciones relacionadas con el aislamiento térmico, la hermeticidad al aire de la envolvente, el control de

las ganancias solares e internas, la ventilación y los sistemas energéticos en edificios nuevos. Asimismo, deberá incluir obligaciones térmicas aplicables en caso de reformas de edificios existentes.

Por otro lado, este nuevo código también debe establecer valores máximos admisibles de consumo de energía primaria por unidad de superficie y obligaciones de generación de energía a partir de fuentes renovables. Para lograr eso, es necesario desarrollar una herramienta de cálculo que permita evaluar con precisión el consumo de energía primaria de los edificios en función de sus características arquitectónicas, materialidad y las condiciones climáticas, previo a su construcción o su renovación. Esto permitirá encontrar la combinación de intervenciones más rentable del punto de vista energético y económico. Esta herramienta puede basarse en el método de cálculo ISO13790 para evaluación de rendimiento energético de edificios, tal como lo hacen varios organismos de certificación energética en el mundo (Simon et al., 2019; Tori et al., 2022).

Los códigos regulatorios deben complementarse con una serie de instrumentos de financiamiento estatal que respalden la construcción de edificios nuevos de alto rendimiento energético. Al igual que los mencionados anteriormente, estos instrumentos financieros deben incentivar a los actores a optar por mejores prácticas de construcción y utilizar tecnologías y materiales eficientes en energía. Específicamente, estos instrumentos financieros deben ser diseñados para favorecer las intervenciones térmicas que apunten al nivel NZEB.

Por otro lado, es crucial fortalecer la capacitación de profesionales de la industria para abordar las brechas de habilidades técnicas e ingenieriles en cuanto a la eficiencia térmica de los edificios. Esto implica respaldar la formación de fuerzas laborales especializadas y promover el desarrollo de industrias nacionales dedicadas a la fabricación de materiales, equipamientos y tecnologías para el sector del acondicionamiento térmico. Estas medidas pueden beneficiar tanto al sector de la construcción como al de la renovación al adaptarse a las nuevas normativas de regulación térmica. Otras iniciativas, ya sean públicas o privadas, pueden incluir campañas de información para concienciar a los ciudadanos sobre el ahorro de energía y ayudar a los consumidores de energía a tomar decisiones orientadas a la eficiencia. Asimismo, es fundamental mejorar la comunicación entre los consumidores y los proveedores de energía para proporcionar datos más precisos y hacer que las tecnologías eficientes sean más asequibles.

Es importante destacar que la combinación de todos estos elementos puede tener un impacto significativo en el mercado de la construcción, impulsar el crecimiento económico, generar numerosos empleos nuevos (Garrett-Peltier, 2017; Nasirov et al., 2021; Scott et al., 2008; Wei et al., 2010) y, a su vez, brindar beneficios a largo plazo en términos de salud, sustentabilidad ambiental y resiliencia al clima.

REFERENCIAS

Chen, K. S., Wang, W. C., Chen, H. M., Lin, C. F., Hsu, Alavirad, S., Mohammadi, S., Hoes, P. J., Xu, L., & Hensen, J. L. M. (2022). *Future-Proof Energy-Retrofit strategy for an existing Dutch neighbourhood.* Energy and Buildings, 260, 111914. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111914

Bustamante, W., Rozas, Y., Cepeda, R., Encinas, F., & Martínez, P. (2009a). *Guia de diseño en la eficiencia energetica en la vivienda social en Chile.* In MINVU - CNE. http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf

Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., & Santa Maria, H. (2009b). *Eficiencia energética en vivienda social: Un desafío posible.* In I. Irarrázaval, E. Puga, M. de los Ángeles Morandé, & M. J. López (Eds.), Camino al Bicentenario - Propuestas para Chile, pp. 253–282. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Chidiac, S. E., Catania, E. J. C., Morofsky, E., & Foo, S. (2011). *Effectiveness of single and multiple energy retrofit measures on the energy consumption of office buildings.* Energy, 36(8), 5037–5052. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.05.050

Deb, C., & Schlueter, A. (2021). *Review of data-driven energy modelling techniques for building retrofit.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 144, 110990. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110990

Díaz-Robles, L., Cortés, S., Carlos Ortega, J., & Vergara-Fernández, A. (2015). *Short term health effects of particulate matter: A comparison between wood smoke and multi-source polluted urban areas in Chile.* Aerosol and Air Quality Research, 15(1), 306–318. https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.10.0316

Dong, B., Kennedy, C., & Pressnail, K. (2005). *Comparing life cycle implications of building retrofit and replacement options.* Canadian Journal of Civil Engineering, 32(6), 1051–1063. https://doi.org/10.1139/l05-061

Fernández, O. (2020). *Ciudades del sur registran aumento de la contaminación en invierno.* La Tercera. https://www.latercera.com/nacional/noticia/ciudades-del-sur-registran-aumento-de-la-contaminacion-en-este-invierno/BGFABDOEINELLE-VBE7P6UN6QJA/

Flamant, G., Bustamante, W., Schmitt, C., Bunster, V., & Osorio, C. (2022). *Thermal and environmental evaluation of mid-rise social housing retrofit under different climate conditions.* Journal of Building Engineering, 46(November 2021). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103724

Garrett-Peltier, H. (2017). *Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model.* Economic Modelling, 61(November 2016), 439–447. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.11.012

Greenstone, M., & Hasenkopf, C. (2023). *Air Quality Life Index 2023 Annual Update.* AQLI. https://aqli.epic.uchicago.edu/wp-content/uploads/2023/08/AQLI_2023_Report-Global.pdf

Hawkins, D., & Mumovic, D. (2017). *Evaluation of life cycle carbon impacts for higher education building redevelopment: a multiple case study approach.* Energy and Buildings, 150, 507–515. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.058

InData SpA, & CDT. (2019). *Usos de energía de los hogares de Chile 2018. Informe Final.* https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf

IPCC. (2022). Climate Change 2022: *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernamental Panel on Climate Change.* **I**n H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), IPCC. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

Jorquera, H. (2021). *Air quality management in Chile: Effectiveness of $MP_{2,5}$ regulations. Urban Climate, 35(December 2020).* https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100764

Jorquera, H., Barraza, F., Heyer, J., Valdivia, G., Schiappacasse, L. N., & Montoya, L. D. (2018). *Indoor $MP_{2,5}$ in an urban zone with heavy wood smoke pollution: The case of Temuco, Chile.* Environmental Pollution, 236, 477–487. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.085

López González, J. (2016). *Certificación de leña: una solución a la degradación de bosques y a la contaminación. Calefacción Con Biomasa: Prohibición vs Tecnología.* https://ingenieria.utalca.cl/Noticia/Detalles/73

Lu, Y., Li, P., Lee, Y. P., & Song, X. (2021). *An integrated decision-making framework for existing building retrofits based on energy simulation and cost-benefit analysis.* Journal of Building Engineering, 43(1239), 103200. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103200

Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art.* Energy and Buildings, 55, 889–902. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018

Marique, A. F., & Rossi, B. (2018). *Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium.* Journal of Environmental Management, 224(2018), 396–405. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.055

Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S., & Vivancos, J. L. (2016). *Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 61, 70–85. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018

Ministerio de Energía. (2020). *Decreto 8, Aprueba Reglamento de Seguridad de las Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica.* Ministerio de Energía. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1143069

Ministerio de Energía. (2021a). *Ley 21305 sobre Eficiencia Energética.* https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1155887

Ministerio de Energía. (2021b). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026.* https://energia.gob.cl/sites/default/files/eficiencia-energetica_16-nov.pdf

Ministerio de Energía. (2021c). *Planificación Energética de Largo Plazo (PELP) Periodo 2023-2027, Informe Preliminar.* https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/pelp2023-2027_informe_preliminar.pdf

MINVU. (2011). *Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).* Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=8201

MINVU. (2021). *Resolución 283 Exenta. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).* https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1157012

MMA. (2010). *Decreto 12 - Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable* $MP_{2,5}$. Ministerio de Medio Ambiente (MMA). https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1025202

MMA. (2019). *Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente.* In Ministerio del Medio Ambiente (MMA) - Gobierno de Chile. https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/REMA-2019-comprimido.pdf

MMA. (2020). *Informe del estado del Medio Ambiente 2020.* Ministerio de Medio Ambiente (MMA). https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/IEMA-2020.pdf

MMA. (2021). *Glosa N° 6: Estado de avance PDA Ciudades en estudio o ejecución, Reporte: 30 de junio de 2021.* Ministerio de Medio Ambiente (MMA). https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/07/Of_212827.pdf

MMA. (2022). *AGIES del proyecto definitivo del PDA.* Ministerio de Medio Ambiente (MMA). http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/Folio_795_al_803_AGIES_proyecto_definitivo.pdf

Morelli, M., Harrestrup, M., & Svendsen, S. (2014). *Method for a component-based economic optimisation in design of whole building renovation versus demolishing and rebuilding.* Energy Policy, 65, 305–314. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.068

Nasirov, S., Girard, A., Peña, C., Salazar, F., & Simon, F. (2021). *Expansion of renewable energy in Chile: Analysis of the effects on employment.* Energy, 226. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120410

Paiho, S., Seppä, I. P., & Jimenez, C. (2015). *An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia.* Sustainable Cities and Society, 15, 75–85. https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.005

Pávez, J., Barraza, C., Durán, C., Medina, G., Rivera, M. I., & De la Barrera, F. (2020, November 12). *Frío, contaminación y hacinamiento: un millón de viviendas sociales con fallas que facilitan la expansión del Covid-19.* Ciper. https://www.ciperchile.cl/2020/11/12/frio-contaminacion-y-hacinamiento-un-millon-de-viviendas-sociales-con-fallas-que-facilitan-la-expansion-del-covid-19/

Rojas, C., Simon, F., Muñiz, I., Quintana, M., Irarrazaval, F., Stamm, C., & Santos, B. (2022). *Trends in household energy-related GHG emissions during COVID-19 in four Chilean cities.* **C**arbon Management, 13(1), 1–16. https://doi.org/10.1080/17583004.2022.2036243

Roos, C. (2008). *Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat and Power. WSU Extension Energy Program, U.S.* Department of Energy. http://northwestchptap.org/nwchpdocs/biomassdryinganddewateringforcleanheatandpower.pdf

Scott, M. J., Roop, J. M., Schultz, R. W., Anderson, D. M., & Cort, K. A. (2008). *The impact of DOE building technology energy efficiency programs on U.S. employment, income, and investment.* Energy Economics, 30(5), 2283–2301. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.09.001

Sebi, C., Nadel, S., Schlomann, B., & Steinbach, J. (2019). *Policy strategies for achieving large long-term savings from retrofitting existing buildings.* Energy Efficiency, 12(1), 89–105. https://doi.org/10.1007/s12053-018-9661-5

Shirazi, A., & Ashuri, B. (2020). *Embodied Life Cycle Assessment (LCA) comparison of residential building retrofit measures in Atlanta.* Building and Environment, 171, 106644. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106644

SICAM Ingeniería. (2015). *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de concepción metropolitano, año base 2013.* http://www.cpcbiobio.cl/wp-content/uploads/2016/04/Resumen-Ejecutivo.pdf

Simon, F. (2017). *Energy and sustainability in Chile: Simulation modelling of low-carbon technologies and energy in buildings.* PhD Tesis. Universidad de Granada.

Simon, F., Ordoñez, J., Girard, A., & Parrado, C. (2019). *Modelling energy use in residential buildings: How design decisions influence final energy*

performance in various Chilean climates. Indoor and Built Environment, 28(4), 533–551. https://doi.org/10.1177/1420326X18792661

Simon, F., Girard, A., Krotki, M., & Ordoñez, J. (2021). *Modelling and simulation of the wood biomass supply from the sustainable management of natural forests.* Journal of Cleaner Production, 282, 124487. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124487

Simon, F., Gironás, J., Rivera, J., Vega, A., Arce, G., Molinos-Senante, M., Jorquera, H., Flamant, G., Bustamante, W., Greene, M., Vargas, I., Suárez, F., Pastén, P., & Cortés, S. (2023). *Toward sustainability and resilience in Chilean cities: Lessons and recommendations for air, water, and soil issues.* Heliyon, 9(7). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18191

Thomsen, K. E., Rose, J., Mørck, O., Jensen, S. Ø., Østergaard, I., Knudsen, H. N., & Bergsøe, N. C. (2016). *Energy consumption and indoor climate in a residential building before and after comprehensive energy retrofitting.* Energy and Buildings, 123, 8–16. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.049

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, 112707. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112707

Villalobos, A. M., Barraza, F., Jorquera, H., & Schauer, J. J. (2017). *Wood burning pollution in southern Chile: $PM_{2.5}$ source apportionment using CMB and molecular markers.* Environmental Pollution, 225, 514–523. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.069

Webb, A. L. (2017). *Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 748–759. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.145

Wei, M., Patadia, S., & Kammen, D. M. (2010). *Putting renewables and energy efficiency to work : How many jobs can the clean energy industry generate in the US ?* Energy Policy, 38(2), 919–931. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.044

WHO. (2021). *Ambient (outdoor) air quality and health.* World Health Organization (WHO). https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Zhang, Z., Zhu, D., Cui, B., Ding, R., Shi, X., & He, P. (2020). *Association between particulate matter air pollution and lung cancer.* Thorax, 75(1), 85–87. https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2019-213722

Zhao, J., Xu, L., Sun, J., Song, M., Wang, L., Yuan, S., Zhu, Y., Wan, Z., Larsson, S., & Tsilidis, K. (2023). *Global trends in incidence, death, onset burden and risk factors of early- cancer from 1990 to 2019.* BMJ Oncology, 2, e000049. https://doi.org/10.1136/bmjonc-2023-000049

DOCUMENTO PARA POLÍTICA PÚBLICA

www.cedeus.cl
comunicaciones@cedeus.cl