



**TRANSICIÓN
ENERGÉTICA A NIVEL
RESIDENCIAL** | Cocción y Calefacción
en América Latina



RESUMEN EJECUTIVO
**TRANSICIÓN ENERGÉTICA
RESIDENCIAL, DATOS Y
POLÍTICAS PARA EL CAMBIO**

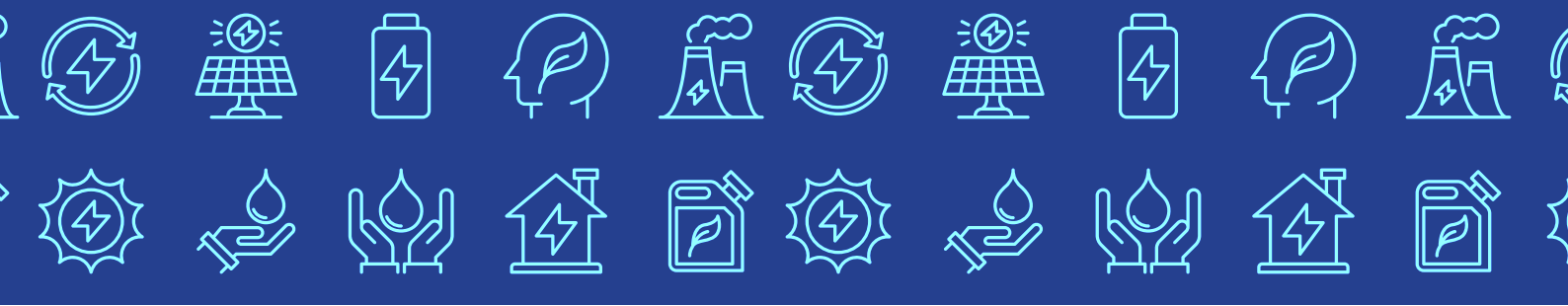
CHILE 

UNA INICIATIVA DE:



IMPLEMENTADO POR:





CRÉDITOS

Transición Energética Residencial, datos y políticas para el cambio CHILE

El proyecto "TRANSICIÓN ENERGÉTICA A NIVEL RESIDENCIAL: Electrificación de estufas y cocinas en América Latina" es una iniciativa del Global Methane Hub implementada en tres países de la región: Colombia, Chile y Brasil, por la Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA), en colaboración con EBP Chile, EBP Brasil, Stanford University, Universidad de São Paulo, Universidad Mayor de Chile y Universidad de los Andes en Colombia.

CONTENIDO:

Los contenidos presentados en este documento, fueron desarrollados gracias al apoyo de: EBP Chile, Universidad Mayor de Chile.

AUTORES:

Nicola Borregaard, EBP Chile.

Paola Valencia, EBP Chile.

Rubén Méndez, EBP Chile.

Cristóbal Galbán Malagón, Universidad Mayor, Chile.

Estela Blanco, Universidad Mayor, Chile.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Unidad de Comunicación y Gestión del Conocimiento - Fundación Futuro Latinoamericano

FOTOGRAFÍAS:

Libres de derecho

FUNDACIÓN FUTURO LATINOAMERICANO INTERNACIONAL


Boulevard Oeste, Santa María Business District

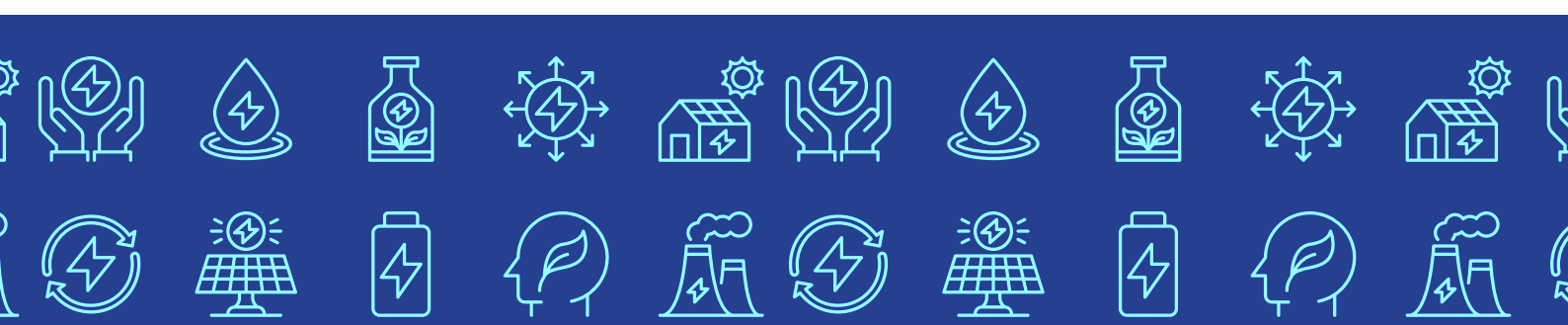
Ciudad de Panamá - Panamá

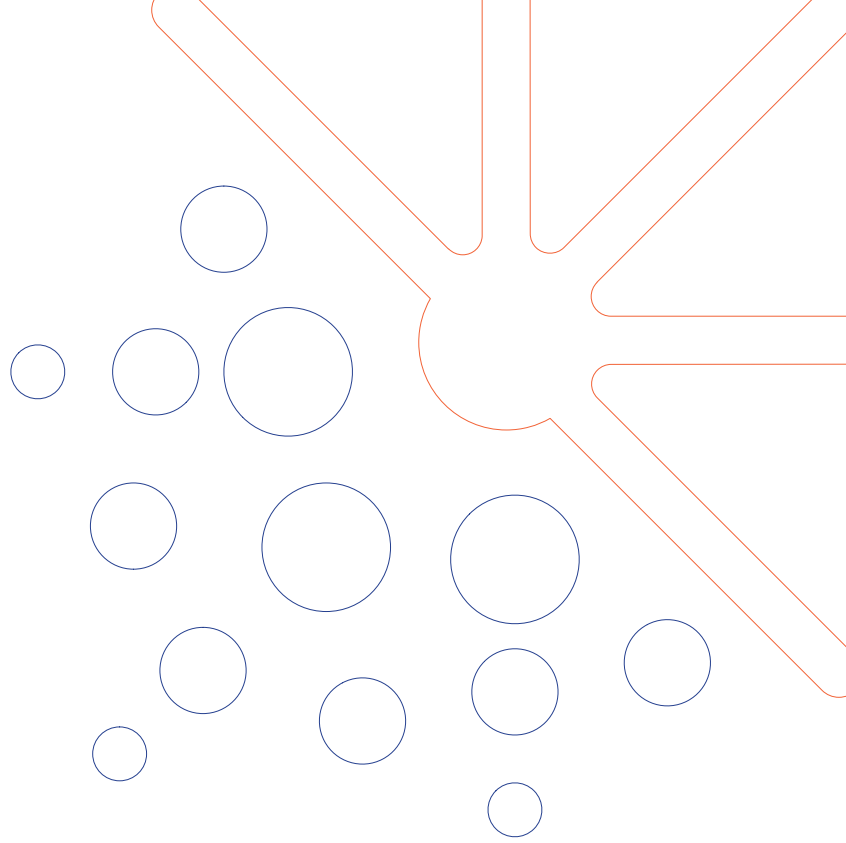
(593) 98 548 3035

<https://www.ffla.net/es/>

Primera Edición, Enero 2025

Creative Commons:  Este informe está distribuido bajo la Licencia Creative Commons, su contenido puede ser utilizado, compartido y adaptado siempre que se cite a la fuente: EBP Chile, Universidad Mayor de Chile, Universidad de los Andes en Colombia, Universidad de Sao Paulo, EBP Brasil, & Fundación Futuro Latinoamericano. (2024). *Estado actual: Electrificación a nivel residencial en Brasil, Chile y Colombia*. Unidad de Comunicación y Gestión del Conocimiento - Fundación Futuro Latinoamericano.





RESUMEN EJECUTIVO

**TRANSICIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL,
DATOS Y POLÍTICAS PARA EL CAMBIO
CHILE**

ANTECEDENTES

TRANSICIÓN ENERGÉTICA A NIVEL RESIDENCIAL: COCCIÓN Y CALEFACCIÓN EN AMÉRICA LATINA



Las viviendas en el sur global frecuentemente utilizan electrodomésticos a base de combustibles fósiles y biomasa, los cuales son una fuente importante de GEI, afectan la calidad del aire interior y están asociados con un aumento de enfermedades respiratorias.

Es importante que los gobiernos promuevan estrategias y políticas nacionales que fomenten la electrificación así como una matriz de generación limpia que reduzca gradualmente la dependencia de los combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero.

El proyecto "Transición Energética a Nivel Residencial: Electrificación de Estufas y Cocinas en América Latina" tiene como objetivo promover la adopción de programas en América Latina que faciliten la transición energética a nivel residencial. Busca reducir las emisiones contaminantes y mejorar la salud y el bienestar de las personas.

Es una iniciativa del Global Methane Hub, implementada en tres países de la región: Colombia, Chile y Brasil, a través de la Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA), en colaboración con EBP Chile, EBP Brasil, Stanford University, Universidad de São Paulo, Universidad Mayor de Chile y Universidad de los Andes en Colombia.

CONTAMINANTES

El uso de combustibles fósiles en usos finales residenciales, como es el caso del uso de gas natural residencial, es una fuente importante de dióxido de carbono (CO_2) durante la combustión. El Metano, por su parte, se puede producir en pequeñas cantidades durante la combustión debido a la combustión incompleta de los hidrocarburos en el combustible. Su tasa de emisión depende fuertemente de la temperatura de la caldera o la estufa. Además, no despreciables de emisión.

Actualmente se estima que el aumento de la concentración atmosférica de metano (CH_4) contribuye con el 35% del calentamiento planetario total asociado con los gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicos, convirtiéndolo, tras el CO_2 , en el segundo principal impulsor del cambio climático antropogénico (IPCC AR6 2023). El metano, con un tiempo de vida atmosférico de 11.2 años, se considera un contaminante climático de vida corta. Sin embargo, y a pesar de su corta vida atmosférica, el CH_4 tiene un alto potencial de calentamiento global, 28 veces mayor que el del CO_2 . Estas características hacen que controlar las emisiones de metano sea un paso imperativo para limitar el calentamiento global en el corto plazo: si esas emisiones pueden reducirse rápidamente, las concentraciones atmosféricas deberían disminuir poco después (en una escala de décadas, no de siglos), y también lo hará el calentamiento que causa. Sin una rápida reducción de las emisiones globales de metano, no es factible cumplir los objetivos del Acuerdo de París de limitar el aumento de la temperatura global.

Si bien se cree que la contribución de la quema de combustibles a las emisiones globales de metano es menor, el IPCC estima que la incertidumbre en dichas emisiones es muy alta. La razón para dicha incertidumbre **es que existen pocas mediciones directas de las tasas de emisión, por lo que esfuerzos para determinarlas experimentalmente puede ayudar a desarrollar factores de emisión más confiables.**



Desde el punto de vista del impacto sobre la calidad del aire intramural por el uso de gas natural en cocción residencial ha sido poco estudiado, pues la mayoría de los esfuerzos en ese sentido se han dedicado a entender las emisiones de combustibles sólidos.

Pocos estudios se han centrado en estimar las tasas de emisión de óxidos de nitrógeno ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), y monóxido de carbono (CO). Ambos compuestos son contaminantes del aire asociados a múltiples efectos negativos sobre la salud. Adicionalmente, es de interés la medición de benceno producto de la combustión de las cocinas a gas, dado que existe poca evidencia a nivel global (Kashtan et al., 2023; Lebel et al., 2022 y Kashtan et al., 2024) y no existía evidencia a nivel de Latinoamérica. Niveles bajos (700 a 3,000 ppm) pueden producir letargo, mareo, aceleración del latido del corazón, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento. En la mayoría de los casos, los efectos desaparecerán cuando la exposición termina y la persona empieza a respirar aire fresco.



CONTAMINACIÓN INTRADOMICILIARIA

Las personas pasan hasta el 90% de su vida en espacios interiores y el 60% de ese tiempo en casa (Vardoulakis et al., 2019). Aunque no son la única fuente de contaminación intradomiciliaria, las estufas de gas son una fuente importante, ya que durante su uso emiten una variedad de contaminantes que pueden afectar la calidad del aire en el hogar y, en consecuencia, la salud de las personas.

La exposición aguda a altos niveles de contaminantes puede tener efectos graves en la salud. El metano (CH_4), a concentraciones elevadas en espacios cerrados, puede desplazar el oxígeno, provocando asfixia, problemas de visión, náuseas y vómitos. El dióxido de carbono (CO_2), entre 1,000 y 2,000 ppm, causa somnolencia y malestar por la calidad del aire, mientras que entre 2,000 y 5,000 ppm genera dolores de

cabeza, pérdida de atención y aumento de la frecuencia cardíaca; exposiciones superiores a 30,000 ppm pueden resultar en mareos, aumento de la presión arterial y dificultades respiratorias.

El monóxido de carbono (CO) es altamente tóxico, incluso a bajas concentraciones, y puede interferir con la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, causando síntomas como dolores de cabeza, mareos, fatiga, y en casos graves, pérdida de conciencia y muerte. El dióxido de nitrógeno (NO_2) puede irritar los ojos, nariz y garganta, y en niveles más altos, llevar a edema pulmonar, una acumulación peligrosa de líquido en los pulmones. Por último, el benceno (C_6H_6) puede provocar mareos, dolores de cabeza, somnolencia, confusión y, en casos extremos, pérdida de conciencia.

MEDICIONES

El proyecto de monitoreo consiste en determinar experimentalmente las tasas de emisión de gases asociados a la combustión de gas natural en cocinas residenciales, tales como; metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), benceno (C₆H₆) y monóxido de carbono (CO) en tres países Brasil, Colombia y Chile. Este monitoreo es muy relevante dado que no existe registro de parte de estos gases producto de uso doméstico en Latinoamérica.

En el caso de Latinoamérica no existe registro de parte de estos gases producto de uso doméstico, y por tanto, las mediciones directas que se realizan en este proyecto serán una fuente clave para cuantificar las emisiones, de estos gases, asociadas a cocinas residenciales. Las mediciones se distribuirán de la siguiente manera:



Alcance del proyecto

PAÍS	CANTIDAD DE VIVIENDAS/CIUDAD	GASES A MONITOREAR
CHILE	30 en Santiago	CH ₄ , CO ₂ , NO ₂ , CO, y C ₆ H ₆
	15 en Temuco	
BRASIL	30 en São Pablo	CH ₄ , CO ₂ , NO ₂
COLOMBIA	20 en Bogotá	CH ₄ , CO ₂ , NO ₂ , CO





Las emisiones atmosféricas por la utilización de cocinas a gas natural pueden generarse ya sea por fugas (pequeñas fallas en las válvulas o empaques que permiten se escape el gas natural sin quemar), o bien como producto de la combustión.

Con el propósito de cuantificar estas emisiones en diversas ciudades de Latinoamérica de forma precisa y reproducible, se conformó un equipo de expertos en monitoreo de contaminantes globales y locales de la Universidad de Stanford (USA), Universidad Mayor (Chile), Universidad de los Andes (Colombia) y la Universidad de São Paulo (Brasil).

Con el respaldo de instituciones de carácter y experiencia internacional en el desarrollo de proyectos asociados a sostenibilidad y cambio climático en el entorno construido, como son la consultora EBP Chile y la Fundación Futuro Latinoamericano.





LA COMPETITIVIDAD COMPARADA

Para medir el avance de la electrificación, es clave comparar la disponibilidad y el costo de diferentes tecnologías y fuentes de energía. Estas varían según el acceso a la tecnología, las necesidades de climatización y las tradiciones de cada país.

Se generó en el marco de este estudio una homologación simple para poder comparar tecnologías. Se basa en un análisis de mercado, a nivel muy estimativo.

CALEFACCIÓN

El único país en el que la calefacción es relevante es Chile. En los otros países la climatización es básicamente para la generación de frío. En Chile, la diversidad geográfica y climática determina las tecnologías de calefacción: En el norte se usan calefactores eléctricos y bombas de calor para noches frías. En el centro, calderas

y estufas a gas natural y a parafina son comunes en áreas urbanas y en el sur, las tecnologías de calefacción típicamente incluyen estufas a leña, pellets de madera y sistemas de calefacción individual a gas licuado y calefacción central como calderas.

En Colombia en lo relacionado con equipos de calefacción, la oferta incluye equipos a gas (natural o GLP) y eléctricos. Los primeros tienen la ventaja de operar a costos relativamente reducidos en comparación con los calefactores eléctricos. La calefacción central es muy poco usada.

Los costos de inversión son muy variados, pudiendo igualar costos de inversión entre calefactores a gas, leña (pellets) y electricidad. Se generó en el marco de este estudio una homologación simple para poder comparar tecnologías. La siguiente tabla refleja los costos de inversión, así como los costos de operación para los casos de Colombia y Chile, que son los países más relevantes en términos de calefacción.

Costo de inversión y operación de equipos de calefacción

TECNOLOGÍA DE CALEFACCIÓN	COSTOS	CHILE	COLOMBIA
CHIMENEA GAS NATURAL	Inversión (USD)	\$143- \$344	\$945 - \$1.539
	Operación (USD/kWh)	\$0,305	\$0,075
CALEFACTOR A GAS LICUADO	Inversión (USD)	\$65 - \$118	\$595 - \$932
	Operación (USD/kWh)	\$0,308	\$0,119
CALEFACTOR ELÉCTRICO	Inversión (USD)	\$11- \$215	\$11 - \$19
	Operación (USD/kWh)	\$0,164	\$ 0,217
CALEFACTOR CERTIFICADO A LEÑA	Inversión (USD)	\$183- \$430	-
	Operación (USD/kWh)	\$0,054	-
CALEFACTOR PELLET DE MADERA	Inversión (USD)	\$538 - \$2.441	-
	Operación (USD/kWh)	\$0,097	-
CALEFACTOR A PARAFINA	Inversión (USD)	\$54 - \$538	-
	Operación (USD/kWh)	\$0,226	-
AIRE ACONDICIONADO (TIPO: INVERTER, VENTANA, CENTRAL Y/O SPLIT)	Inversión (USD)	\$215 - \$1.022	\$212 - \$896
	Operación (USD/kWh)	\$0,047	\$ 0,068
BOMBA DE CALOR*	Inversión (USD)	\$2.300 - \$4.500	\$850 - \$1.091
	Operación (USD/kWh)	\$0,036	\$0,052

Fuente: Elaboración propia en base a datos de mercado, diversas tecnologías.

* Las bombas de calor en el mercado tienen tamaños mínimos del orden de 9kW de capacidad, por lo que su uso se limita a viviendas grandes. Los rendimientos de las bombas de calor en el mercado chileno son superiores a las del mercado colombiano.

Notas:

- Los costos de operación de la Tabla indican los costos de la energía útil. Esto es, el cociente entre el costo del energético y el rendimiento del equipo.
- Los costos de los energéticos considerados para determinar los costos de operación de los equipos, se obtuvieron de los distintos pliegos tarifarios de cada país, para las tarifas más comunes.

COCCIÓN

En Brasil, Colombia y Chile no hay una tendencia clara hacia una tecnología específica para cocinar:

- ▶ Predominan las cocinas a gas y a leña, que sigue siendo relevante en zonas rurales y urbanas, especialmente en Colombia y al sur de Chile.
- ▶ La electricidad se usa como complemento en electrodomésticos como microondas y hornos.
- ▶ La parafina y el biogás son opciones menos comunes, con el biogás como alternativa sostenible aún poco difundida.

- ▶ Las estufas que funcionan con electricidad, tanto de resistencia como de inducción, son energéticamente eficientes.

Los costos de inversión son muy variados, pudiendo igualar costos de inversión entre cocinas a gas, leña y electricidad, cuando estas últimas son de resistencia, no de inducción.

Se generó en el marco de este estudio una homologación simple para poder comparar tecnologías. La siguiente tabla refleja los costos de inversión, así como los costos de operación para cada uno de los tres países.

Costo de inversión en equipos de cocción

TECNOLOGÍA DE COCCIÓN	COSTO CHILE (USD)	COSTO COLOMBIA (USD)	COSTO BRASIL (USD)
COCINA ELÉCTRICA (4 QUEMADORES) RESISTENCIA	\$ 198 - \$ 878	\$ 260 - \$ 267	\$ 257 - \$ 330
COCINA ELÉCTRICA (4 QUEMADORES) INDUCCIÓN	\$ 1.250 - \$ 5.000	\$ 377 - \$ 1.073	\$ 257 - \$ 518
COCINA A GAS (4 QUEMADORES)	\$ 134 - \$ 1.750	\$ 105 - \$ 234	\$ 324 - \$ 493
COCINA A LEÑA	\$ 561 - \$ 3.750	\$ 364 - \$ 469	\$ 366 - \$ 1.224

Fuente: Elaboración propia con base a consultas en mercados páginas web.

Costo de energéticos en equipos de cocción

TECNOLOGÍA DE COCCIÓN	COSTO CHILE (USD/kWh)	COSTO COLOMBIA (USD/kWh)	COSTO BRASIL (USD/kWh)
COCINA ELÉCTRICA INDUCCIÓN	0,167	0,241	0,129
COCINA ELÉCTRICA RESISTENCIA	0,231	0,334	0,179
COCINA A GAS NATURAL	0,310	0,083	0,213
COCINA A GAS LICUADO	0,224	0,094	0,167
COCINA A LEÑA	0,051	0,0308	0,057

Fuente: Elaboración propia con base en el mercado.

La tecnología eléctrica más avanzada para cocinar son las estufas eléctricas de inducción, sin embargo, hay barreras tecnológicas en los tres países:

- ▶ Un mercado muy incipiente y por lo tanto aún bastante costosa en términos de inversión.
- ▶ Las configuraciones de estas estufas requieren conexión a 220 V. La mayoría de los hogares de Colombia tienen conexión a 120 V, a diferencia de Chile que utiliza 220 V, y Brasil que usa 127/220 V. Realizar la modificación para cambiar el nivel de tensión en Colombia no resulta sencilla.

El hecho de tener que comprar también la batería de ollas que deben tener una base ferromagnética.



POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PROMOVER **LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA** EN EL SECTOR RESIDENCIAL

En Brasil, Chile y Colombia, existen marcos políticos y estratégicos que influyen en la transición energética residencial. Aunque los enfoques varían según los contextos y la disponibilidad de recursos energéticos, se pueden identificar elementos comunes y desafíos relevantes.

POLÍTICAS E INSTRUMENTOS EXISTENTES PARA IMPULSAR LA TRANSICIÓN

- ▶ **Cambio climático:** Chile destaca con un marco robusto de políticas y estrategias, como su Estrategia de Cambio Climático de Largo Plazo, que menciona la electrificación residencial como una medida para reducir emisiones de GEI.
- ▶ **Energías renovables no convencionales:** En Chile, se promueve activamente su adopción, mientras que en Brasil

y Colombia la generación renovable se concentra en hidroeléctricas convencionales.

- ▶ **Acceso a electricidad:** Tanto en Chile como en Brasil, más del 99% de la población tiene acceso a electricidad, reflejando avances significativos en este ámbito.
- ▶ **Eficiencia energética:** Los tres países cuentan con programas de etiquetado energético y planes de reemplazo de artefactos eléctricos, además de políticas de descontaminación orientadas al uso de leña, con un enfoque particular en Chile y Colombia.

En los tres países existe una amplia variedad de instrumentos específicos que impactan directamente la transición energética a nivel residencial. Este estudio recopiló y revisó aproximadamente 30 instrumentos en Chile, 20 en Colombia y 25 en Brasil.

LA NECESIDAD DE **ELIMINAR LOS FRENOS AL CAMBIO**

El desafío no es trivial considerando variables de contexto como lo son los subsidios al



gas (en el caso de Chile más limitados a la Región de Magallanes), sistemas eléctricos no normalizados, la falta de internalización de externalidades, la falta de conocimiento e información sobre las distintas alternativas energéticas, y aspectos culturales que favorecen por ejemplo el uso de la leña.

Hoy los principales frenos al cambio son:

- ▶ Existencia de subsidios a combustibles fósiles dificultan la transición.
- ▶ No existe un costo por las externalidades ambientales producidas por la leña y los combustibles fósiles en la salud de las personas y la calidad del aire de las ciudades.
- ▶ Programas de recambio de estufas y cocinas a leña se centran principalmente en aparatos más eficientes a gas o leña (incluidos subsidios al gas), sin priorizar aquellas alternativas eléctricas.
- ▶ Impuestos al carbono - cuando existen en los tres países - han dejado fuera los consumos residenciales, centrándose en industrias y vehículos contaminantes, o excluyendo en su aplicación el gas.



La transición hacia un sistema energético más limpio requiere la implementación simultánea de una diversidad de instrumentos complementarios que generen sinergias entre sí. En Chile, Colombia y Brasil, se han propuesto 20, 15 y 8 instrumentos respectivamente. Algunos de estos actúan como habilitadores, como la regularización y mejoramiento de instalaciones eléctricas en viviendas, mientras que otros buscan fomentar la inversión en tecnologías limpias y modernizar la infraestructura energética.

A continuación se ofrecen detalles sobre las políticas e instrumentos existentes, así como los instrumentos propuestos, por país.





ESTUDIOS DE CASO **CHILE**





CONTEXTO

El contexto de Chile se analiza en base a variables que permiten entender la situación actual de la transición energética residencial.

CLIMA:

Al ser un país de geografía diversa, presenta una variedad de climas que reflejan su vasta extensión longitudinal y altitudinal. Desde el árido desierto de Atacama en el norte hasta los climas fríos y lluviosos de la Patagonia en el sur, el clima de Chile varía considerablemente a lo largo de su territorio.

CONTEXTO SOCIOECONÓMICO:

El poder adquisitivo puede determinar la inversión residencial en artefactos eléctricos. La realidad socioeconómica en Chile se clasifica en cuatro estratos: AB, C, D y E. Los estratos D y E tienen ingresos promedio de USD. 438 per cápita mensuales o inferior a este valor y representan al 36% de la población del país.

OFERTA Y DEMANDA ENERGÉTICA

Para entender los niveles de electrificación residencial, es importante entender el contexto general de los energéticos, tanto la oferta de energéticos como la demanda de éstos. La relevancia del sector residencial en la demanda energética y también la importancia de la transformación en este sector.

ENERGÍAS RENOVABLES Y FACTORES DE EMISIÓN

El nivel de energías renovables en la matriz eléctrica, su tendencia histórica y proyectada es definitorio para la cantidad de emisiones implicada en los procesos de la transición a la electrificación.



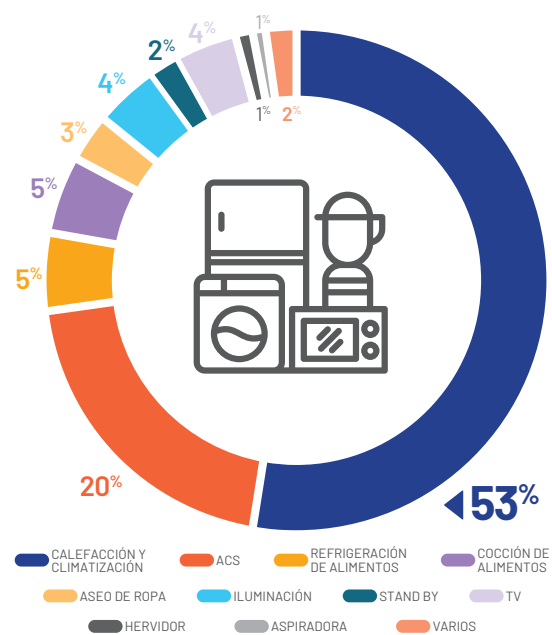
Actualmente, en Chile un 62% de la capacidad instalada en la red eléctrica es energía renovable, con un 26% de esto energía solar. El resto es térmico, entre carbón, gas natural y diesel. En Chile de acuerdo a la Política Energética 2050 en el año 2030 debería haber 80% de energías renovables en generación eléctrica, y en el año 2050 un 100% energía cero emisiones.

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL SECTOR RESIDENCIAL

El consumo de energía del sector residencial representa el 17%, siendo el tercer sector con más consumo en el país.

La matriz energética para el sector residencial es diversa, compuesta principalmente por biomasa, seguida por electricidad y gas licuado de petróleo y en menor medida, por gas natural y kerosene.

La distribución del consumo de todos los energéticos es mayoritariamente para uso de calefacción y climatización (53%), agua caliente sanitaria (20%), seguido por refrigeración y cocción de alimentos (5% cada uno).



DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE CONSUMO DE TODOS LOS ENERGÉTICOS SEGÚN USO EN CHILE

Fuente: Elaboración propia en base a Informe Usos de energía de los Hogares Chile 2018

CARACTERIZACIÓN DE COCCIÓN Y CLIMATIZACIÓN

El uso de energía final en el que se enfoca el presente estudio es la cocción de alimentos y la climatización de espacios, bien sea para calefacción o enfriamiento.

En Chile los energéticos más utilizados para la cocción de alimentos son el Gas Licuado de Petróleo (GLP), el gas natural y la electricidad, con una penetración en los hogares del 76%, 14% y 5% respectivamente.

Para la calefacción de espacios los energéticos más utilizados son el GLP (26%), leña y sus derivados como el pellet (26%) y la electricidad, con una penetración en los hogares del país del 16%. El GLP consiste en la principal fuente de energía en áreas urbanas mientras que en las zonas rurales es más común el uso de carbón, leña o sus derivados. La calefacción se logra mayoritariamente a través de estufas o calefactores individuales. A nivel nacional, un menor porcentaje, el 2,4%, utiliza sistemas de calefacción central.

CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS

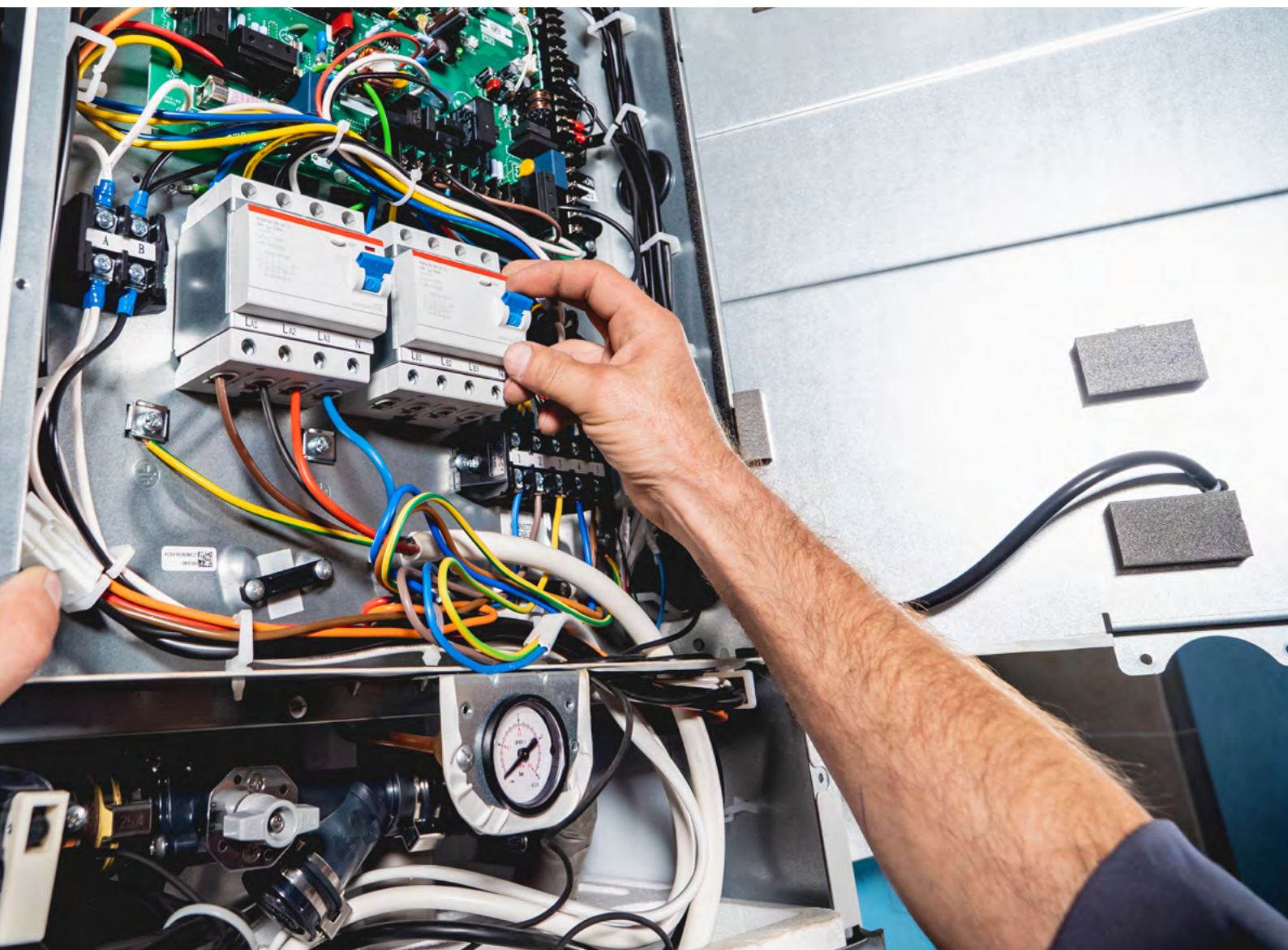
La electrificación de los hogares y artefactos requiere viviendas con instalaciones eléctricas formalizadas y regularizadas. En Chile, el 90% de los hogares se emplaza en zonas urbanas y 10% en áreas rurales, en las que la electrificación supone un reto.

Los muros exteriores de las viviendas en zonas urbanas se componen de albañilería (bloque cemento, piedra o ladrillo), hormigón armado y tabiquería, mientras que en la ruralidad predominan los tabiques forrados por ambas caras (madera, acero).



ESTADO ELECTRIFICACIÓN: NIVEL DE ACCESO Y CALIDAD DEL SERVICIO

Para hacer posible una mayor electrificación a nivel residencial, es fundamental que hayan altos niveles de acceso a electricidad. En lo más básico, el acceso a energía eléctrica en Chile ha demostrado un avance importante, no solamente en zonas urbanas, sino también en cuanto al acceso eléctrico en zonas rurales. En zonas rurales, en las últimas



décadas, el acceso a la electricidad ha aumentado del 50% (en los años 90) a más del 96% en la actualidad. Esto se ha logrado con un programa sistemático y continuo a través de las décadas y en los distintos gobiernos.

No obstante, a nivel general, aún existe un gran desafío en avanzar hacia la electrificación residencial, especialmente en lo que respecta a la calidad del servicio, las interrupciones en el abastecimiento y la necesidad de contar con un sistema de distribución eléctrica más confiable, sostenible y resiliente ante el cambio climático.

EMISIONES GLOBALES DEL SECTOR RESIDENCIAL

El sector residencial en Chile generó alrededor de 18 millones de toneladas de CO₂ en el año 2022. La principal fuente de emisiones a nivel residencial, debido a su amplio uso en los hogares para la calefacción y a un alto factor de emisiones es la leña (46%), seguida por la electricidad (28%) y el gas licuado (16%).



De acuerdo a los usos finales de la energía, para el mismo año se proyectó que la calefacción de las viviendas tendría una emisión aproximada de 10 millones de toneladas de CO₂, es decir 55% del total; donde también la leña resulta responsable de la mayoría de emisiones asociadas a la calefacción a nivel **nacional**¹.

EMISIONES LOCALES E INTRADOMICILIARIAS

El uso de combustibles fósiles no solo contribuye a las emisiones de contaminantes globales como el CO₂ y el CH₄, sino que también genera una serie de contaminantes locales e intradomiciliarios que afectan la calidad del aire interior y la salud.

En Chile, un estudio en 2001 monitoreó el ambiente de 24 hogares y encuestó a



1. Se debe notar que en el balance energético la leña es considerada como biogénica, por lo que no se incluye en el cálculo de las emisiones en el momento de la quema. Sin embargo, el estudio presente incluye estas emisiones dado que dependen del consumo residencial.

136 familias, encontrando que la calefacción -mayormente a parafina, seguida de gas, carbón, leña y electricidad- y revelando que la calidad del aire interior representaba un riesgo importante para la salud, especialmente para poblaciones sensibles, debido a los contaminantes emitidos dentro de las viviendas. Sin embargo, no existían estudios recientes ni mediciones actualizadas sobre los contaminantes involucrados en las tecnologías actuales. A partir del presente estudio, se ofrecen datos actualizados sobre las emisiones intradomiciliarias, logradas mediante un proceso de monitoreo.

TECNOLOGÍAS Y COSTOS

Para evaluar el avance de la electrificación es esencial mirar la disponibilidad y los costos comparados de las distintas tecnologías y energéticos.



CLIMATIZACIÓN

En Chile, la diversidad geográfica y climática determina las tecnologías de calefacción. En el norte, con clima cálido y seco, se usan calefactores eléctricos y bombas de calor para noches frías. En el centro, incluyendo Santiago, calderas y estufas a gas natural y a parafina son comunes en áreas urbanas; en zonas rurales, predominan las estufas a leña. Por último, el sur de Chile, donde el clima es más frío y húmedo, enfrenta la mayor demanda de calefacción las tecnologías de calefacción típicamente incluyen estufas a leña, pellets de madera y sistemas de calefacción individual a gas licuado de petróleo y calefacción central como calderas.

La eficiencia energética es un factor crucial en la elección de sistemas de calefacción. En una vivienda promedio en Chile (77 m²), el consumo anual de energía es de 10.000 kWh, de los cuales un 56% se destina a calefacción. Las bombas de calor, incluyendo las geotérmicas, están ganando popularidad debido a su alta eficiencia.

Hay una gran variedad de calefactores eléctricos que suelen ser compactos, livianos y fáciles de transportar e instalar, solo

requiere conexión a un tomacorriente. Están diseñados para calentar espacios reducidos, como una habitación de una vivienda o una pequeña oficina y tienen poca inercia térmica, lo que significa que una vez se apagan el calor se extingue rápidamente. Su costo de adquisición es reducido pero dado que su componente principal corresponde a una resistencia eléctrica, el consumo energético es elevado.

En cuanto a enfriamiento, ha habido un aumento significativo en la compra de aires acondicionados. En el caso de Chile se revisaron las bases de datos de importaciones, llegando a establecer que entre 2019 y 2023 se importaron más de un millón de dispositivos de aire acondicionado.

En Chile, los costos de los energéticos utilizados para la climatización varían según los el tipo de energía y la tecnología empleada. A continuación, se detallan algunos de los principales costos asociados a diferentes fuentes y sistemas de climatización:



Costo de inversión y operación de equipos de calefacción

TECNOLOGÍA DE CALEFACCIÓN	COSTOS	RANGO DE COSTOS
CHIMENEA GAS NATURAL	Inversión (USD)	\$143- \$344
	Operación (USD/kWh)	\$0,305
CALEFACTOR A GAS LICUADO	Inversión (USD)	\$65 - \$118
	Operación (USD/kWh)	\$0,308
CALEFACTOR ELÉCTRICO	Inversión (USD)	\$11- \$215
	Operación (USD/kWh)	\$0,164
CALEFACTOR CERTIFICADO A LEÑA	Inversión (USD)	\$183- \$430
	Operación (USD/kWh)	\$0,054
CALEFACTOR PELLET DE MADERA	Inversión (USD)	\$538 - \$2.441
	Operación (USD/kWh)	\$0,097
CALEFACTOR A PARAFINA	Inversión (USD)	\$54 - \$538
	Operación (USD/kWh)	\$0,226
AIRE ACONDICIONADO <small>(TIPO: INVERTER, VENTANA, CENTRAL Y/O SPLIT)</small>	Inversión (USD)	\$215 - \$1.022
	Operación (USD/kWh)	\$0,047
BOMBA DE CALOR*	Inversión (USD)	\$2.300 - \$4.500
	Operación (USD/kWh)	\$0,036

Fuente: Elaboración propia en base a datos de mercado, diversas tecnologías – datos muy estimativos en base a un breve levantamiento de información de mercado, junio 2024

COCCIÓN

En Chile, los principales energéticos utilizados para la cocción de alimentos son la electricidad, el gas licuado de petróleo (GLP), la leña y, en menor medida, la parafina y el biogás. Estos energéticos son empleados en diversas tecnologías de cocción que van desde las tradicionales hasta las más innovadoras y eficientes.

En cuanto a las tecnologías de cocción, Chile ha experimentado con innovaciones que buscan mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. Entre ellas: cocinas mejoradas o eficientes, tecnologías Cook & Chill y ollas inteligentes. Estas tecnologías

reflejan un esfuerzo por parte de Chile para modernizar la cocción de alimento haciéndola más eficiente, segura y sostenible.





Costo de inversión y operación de equipos de cocción

TECNOLOGÍA DE COCCIÓN	COSTOS	RANGO DE COSTOS
COCINA ELÉCTRICA (4 QUEMADORES) RESISTENCIA	Inversión (USD)	\$198 - \$878
	Operación (USD/kWh)	0,231
COCINA ELÉCTRICA (4 QUEMADORES) INDUCCIÓN	Inversión (USD)	\$1.250 - \$5.000
	Operación (USD/kWh)	0,167
COCINA A GAS (4 QUEMADORES)	Inversión (USD)	\$134 - \$1.750
	Operación (USD/kWh)	Gas Natural: 0,310 Gas Licuado: 0,224[MMI]
COCINA A LEÑA	Inversión (USD)	\$561 - \$3.750
	Operación (USD/kWh)	0,051

Fuente: Elaboración propia en base a datos de mercado- datos muy estimativos en base a un breve levantamiento de información de mercado, junio 2024

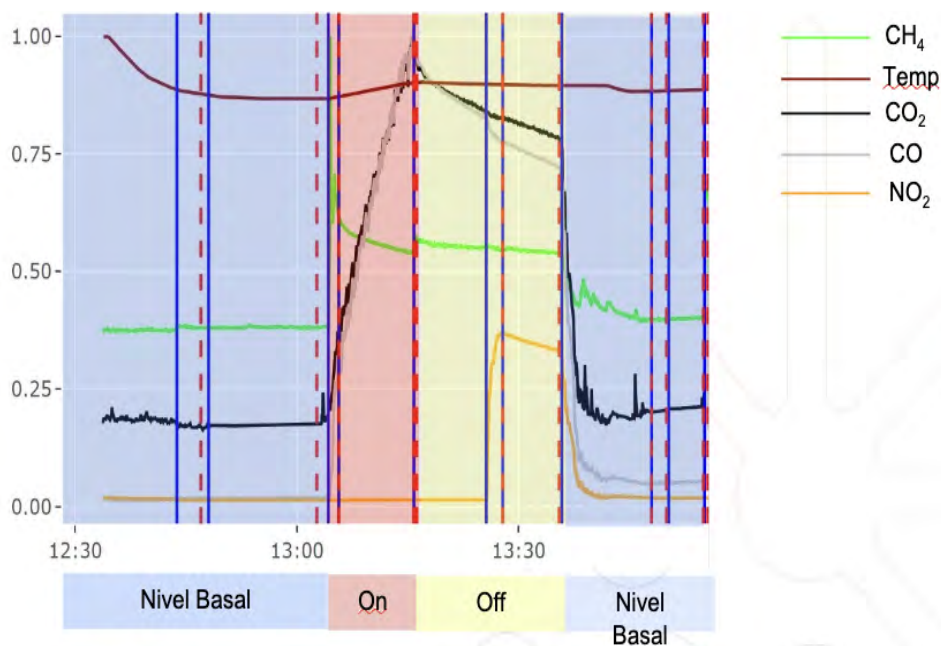
MEDICIONES

DESAFÍO DE CONTAMINACIÓN EN CHILE EN BASE A LAS MEDICIONES

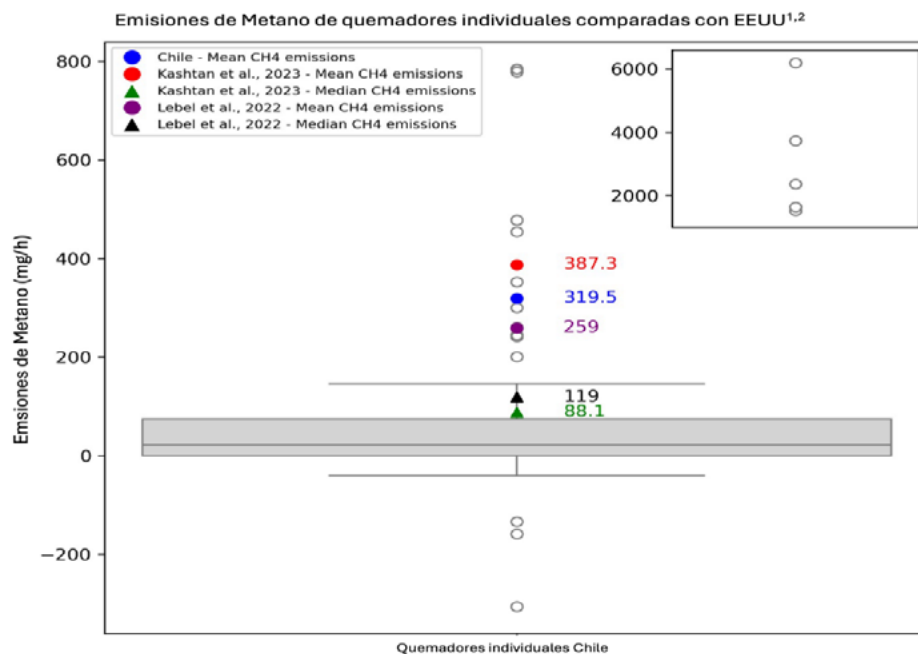
Por medio de este estudio, se identificó que tanto en Chile, como en Colombia y Brasil los dispositivos de cocción a base de gas natural, generan emisiones incluso estando apagados (fugas). El siguiente gráfico muestra un ejemplo de cómo en una de las 45 casas

medidas en Chile, en el estado estacionario "off", la cocina tuvo fugas de Oxido Nitroso (NO_2), Metano (CH_4) Monóxido y Dióxido de Carbono (CO y CO_2).

A continuación se describen los resultados de las mediciones del estudio en cuanto a emisiones de Metano, Dióxido de Carbono, Carbono y Óxidos de Nitrógeno dentro de las 45 viviendas en Chile (Temuco y Santiago) y se comparan los valores obtenidos con los promedios en EE.UU.:



ESQUEMA DE UNA TOMA DE MUESTRA CON NIVELES OBTENIDOS PARA LOS DIFERENTES GASES MEDIDOS, ASÍ COMO LA TEMPERATURA. EN EL MISMO SE ENCUENTRAN DEMARCADOS LOS DIFERENTES NIVELES DE CADA UNO DE LOS GASES MEDIDOS EXCEPTUANDO BENCENO



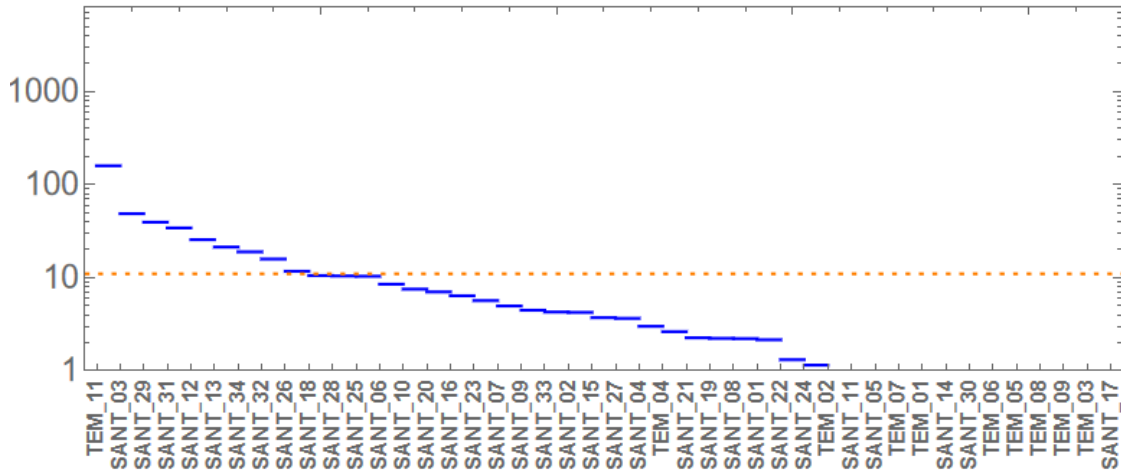
COMPARACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN DE METANO OBTENIDAS EN LAS CASAS DE SANTIAGO DE CHILE.

► **Factores de emisión de Metano:**

Los resultados obtenidos comparan las emisiones de metano (CH₄) de quemadores individuales en Chile con las reportadas en estudios recientes en EE.UU. Las emisiones de metano (CH₄) en Chile presentan un promedio de **319.5 mg/hora** (punto azul), con una dispersión significativa entre los quemadores individuales. Las emisiones medias en EE.UU según Kashtan et al. (2023), son **387.3 mg/hora** (punto rojo).

El estudio de Lebel et al. (2022) reporta un promedio más bajo de **259 mg/hora** (punto púrpura). Es importante destacar que, aunque el valor promedio de Chile está por debajo del valor de Kashtan et al., 2023, algunos quemadores alcanzan valores extremos de hasta **6.000 mg/hora**, lo que indica una **alta variabilidad en las emisiones** entre las casas examinadas y que, la dispersión de los datos en Chile es significativa.

Flujo CH₄ (mg/h) – Estado Estacionario Off (Chile)



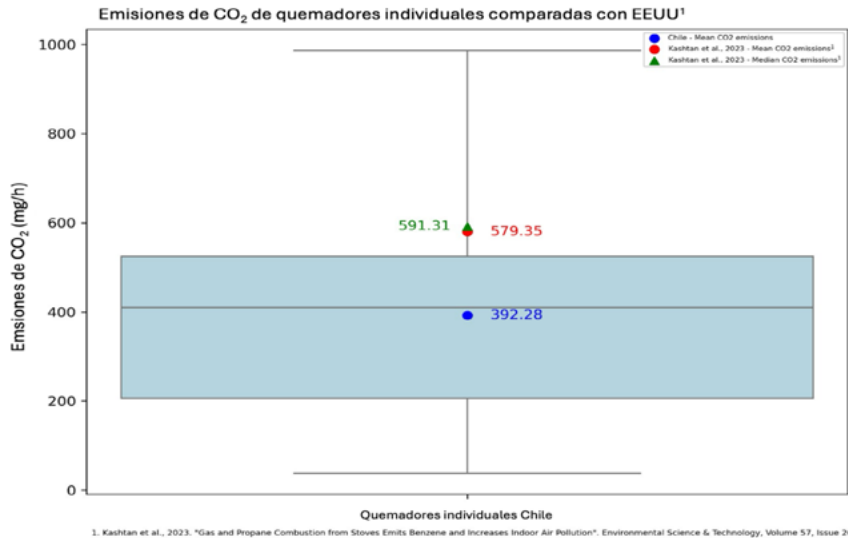
FLUJOS DE EMISIÓN DE METANO POR EN MG/H EN LAS CASAS MEDIDAS TOTALES EN LAS DIFERENTES CASAS EN LAS QUE SE HA MEDIDO EN SANTIAGO DE CHILE Y CUYOS DATOS HAN SIDO EXPLORADOS.

Es importante comentar que, tras examinar los resultados, el Metano es uno de los gases que se emiten, aun cuando las cocinas están apagadas. La siguiente gráfica muestra estas emisiones fugitivas por encima del valor promedio, que pueden aumentar las concentraciones a nivel intradomiciliario de forma importante.

- **Emisiones CO₂:** Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de quemadores individuales en Chile, promedian **392.28 g/hr** (punto azul). Cuando se comparan estas emisiones con los estudios citados, se observa que las

emisiones en Chile son más bajas en promedio. Kashtan et al. (2023) reporta un valor medio de **579.35 g/hr** (punto rojo) y una mediana de **591.31 g/hr** (triángulo verde) en sus estudios de EE.UU. Los valores más altos reportados en los estudios de EE.UU. sugieren que los quemadores utilizados en Chile, aunque presentan una alta variabilidad, tienen en promedio menores emisiones de CO₂. Sin embargo, es importante señalar que algunos quemadores individuales en Chile presentan emisiones que se acercan a los valores más altos observados en EE.UU.



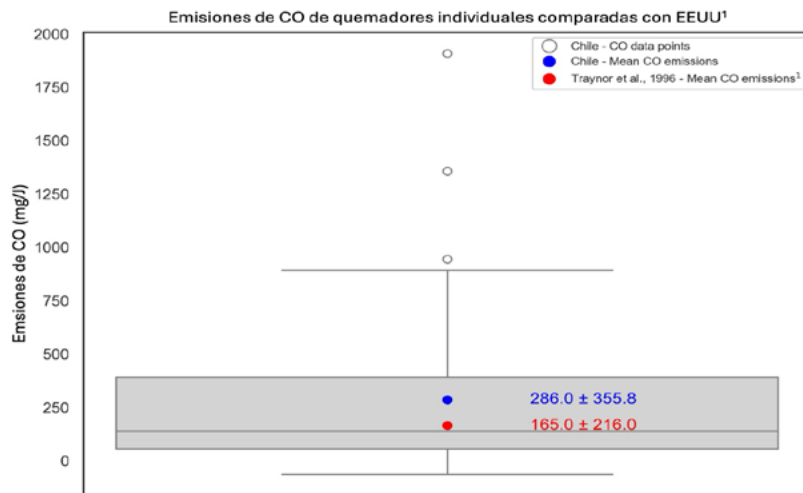


COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ DEL PRESENTE ESTUDIO EN COMPARACIÓN CON REPRESENTADO EN LA BIBLIOGRAFÍA.

- **Monóxido de Carbono:** En cuanto a las emisiones de monóxido de carbono (CO) en quemadores individuales en Chile, muestra un promedio de **286.0 mg/J** (punto azul). En comparación con los datos de Traynor et al. (1996) sobre emisiones de CO en EE.UU., el **promedio de emisiones en Chile es significativamente más alto que el promedio reportado en EE.UU.**, de 165.0 mg/J (punto rojo). Se puede afirmar que en promedio, los quemadores en Chile emiten más CO que los quemadores reportados en el estudio

de EE.UU. Además, la dispersión en los valores de Chile es notablemente mayor (alcanzando valores hasta 1.000 mg/J).





1. Traynor et al., 1996. "Pollutant Emission Factors from Residential Natural Gas Appliances: A Literature Review". Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 13.

FLUJOS DE EMISIÓN DE METANO POR EN MG/H EN LAS CASAS MEDIDAS TOTALES EN LAS DIFERENTES CASAS EN LAS QUE SE HA MEDIDO EN SANTIAGO DE CHILE Y CUYOS DATOS HAN SIDO EXPLORADOS.

El valor promedio de emisiones de CO en Chile indica que, una parte considerable de los equipos podría estar operando con una combustión incompleta, liberando **cantidades elevadas de CO, un gas tóxico que tiene efectos graves sobre la salud**, especialmente en espacios cerrados mal ventilados.

Las conclusiones sobre la variabilidad en las emisiones de contaminantes en Chile, según los análisis realizados de los gráficos, sugieren que las principales causas pueden estar relacionadas con varios factores. En primer lugar, podría deberse a las diferencias en la tecnología de los quemadores utilizados

en los hogares chilenos, con equipos más antiguos, de menor calidad, podría motivar las emisiones más elevadas identificadas. En segundo lugar, el mantenimiento insuficiente de los aparatos podría estar contribuyendo a una combustión ineficiente, lo que incrementa las emisiones de gases como el CO y el NO₂.

El estudio en Chile se realizó a partir de muestreos en 34 cocinas en Santiago de Chile que consistieron en la toma de datos durante 3.5 horas aproximadamente. Los detalles de la metodología seguida para las mediciones en Chile, se encuentran en la sección III.2 del [Informe de Mediciones](#), y los resultados son ampliamente descritos en la sección IV.1.





IMPLICACIONES A LA SALUD ESTIMADAS EN BASE A LAS MEDICIONES

No hay normas nacionales en Chile que regulen la contaminación intradomiciliaria. Por lo que se recurrió a normativas internacionales².

Los resultados obtenidos en el presente estudio son indicativos de que ninguna de las casas en las que se tomaron medidas superaron las normas mencionadas CO₂ y Benceno. Para CO₂, la mediana fue menor al límite de exposición a corto plazo (15 minutos): 1.412 versus 30.000 ppm.

Para Benceno también los niveles fueron inferiores a las normas establecidas para trabajadores.

Sin embargo, si se compara con las normas canadiense para el aire interior, **las medianas de valores para las viviendas muestreadas en Chile para CO₂ y C₆H₆ exceden los**

niveles recomendados: CO₂ 1.412 versus 1.000 y 0,5 versus 0,2 para C₆H₆.

En el caso de NO₂, Canadá cuenta con una norma residencial de 1 hora (90 ppm) y 24 horas (11 ppb) (Health Canada, 2021). En las viviendas en las cuales se midió **NO₂**, **la mediana superó la norma** de 1 hora: 125 versus 90 ppm. Entonces, el mismo nivel (125 ppm) hubiera seguido por una hora, 50% de las viviendas muestreadas hubieran superado la norma canadiense.

La exposición a niveles altos de contaminación intradomiciliaria podría dañar la salud, sin embargo, está fuera del alcance de este informe hacer una asociación directa con la salud de los habitantes de las viviendas muestreadas.

Es importante mencionar que, en Chile, es común tener cocinas cerradas y eso podría implicar una mayor exposición a altos niveles de contaminación intradomiciliaria. Por lo tanto, la ventilación es clave: utilizar campanas extractoras o abrir ventanas mientras se usa la cocina.



2. Canadá tiene normas para CO₂ (Health Canada, 2021), Benceno (Health Canada, 2019) y NO₂ (Health Canada 2021) y EEUU tiene normas para trabajadores o exposición ocupacional para el caso de CO₂ Y Benceno CO₂ y C₆H₆ (www.dir.ca.gov). En el caso de exposiciones ocupacionales dos organizaciones importantes, ambas de EEUU, son: Occupational Safety and Health Administration / Administración de Seguridad y Salud Ocupacional y American Conference of Governmental and Industrial Hygienists / Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales. Estas organizaciones tienen normas para límites de exposición permitido (PEL= Permissible exposure limit) y límite de Exposición a Corto Plazo (STEL= Short term exposure limit).



CONTRIBUCIONES A LAS EMISIONES NACIONALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

A partir de los resultados obtenidos, es posible estimar la contribución de las cocinas a gas en las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector residencial de Chile.

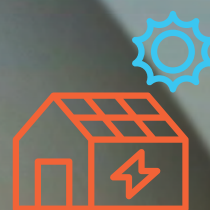
- ▶ Se estima sólo el uso de cocinas a gas natural representa aproximadamente el **7%** de las emisiones totales de CO₂ del sector residencial, contribuyendo con **285.000** toneladas anuales de CO₂.
- ▶ En cuanto al metano (CH₄), las emisiones no fugitivas de las cocinas representan alrededor del **1.1%** del total del sector, con 232 toneladas anuales, mientras que las emisiones fugitivas, que ocurren incluso cuando el equipo está apagado, suman otras **0.1 Kt** al año, lo que eleva el total de las emisiones de CH₄ a un **1.56%** del total reportado para el sector residencial.

En el presente proyecto se obtuvieron factores de emisión de metano en torno a **199.12 (kgCH₄/TJ)**. Al comparar los valores obtenidos para los factores de emisión en comparación con los que se

utilizan actualmente, se encuentra que **este valor es en torno a 39 veces mayor que lo usado para construir el inventario nacional de emisiones.**

- ▶ En el caso del monóxido de carbono (CO), se calcula que las cocinas a gas natural emiten 2218 toneladas al año, lo que representa aproximadamente el 0.77% de las emisiones totales de CO del sector residencial.
- ▶ **CO₂ y CH₄:** Este proyecto ha identificado factores de emisión específicos para la combustión de gas natural en Chile, encontrando que las emisiones combinadas de dióxido de carbono y metano alcanzan **90.46 tCO₂-eq/TJ**, con el metano representando el 6.14% del total. Este **valor es significativamente mayor a los estándares internacionales**, como los del IPCC, lo que subraya la necesidad de un enfoque local para mejorar los inventarios de emisiones.

Estos resultados reflejan que, aunque las cocinas a gas no son la principal fuente de emisiones en el sector residencial, su contribución no es despreciable, particularmente en términos de metano, un gas con un fuerte potencial de calentamiento global.



POLÍTICAS

INSTRUMENTOS EXISTENTES PARA IMPULSAR LA TRANSICIÓN

POLÍTICA, PLANES Y LEYES MARCO

Chile cuenta con una serie de políticas, estrategias y planes implementados que se relacionan o contribuyen a impulsar la electrificación residencial, entre ellas se destacan:

- ▶ **Política Energética de Chile 2050**, que establece metas como el acceso universal a energía de calidad y la promoción de energías renovables distribuidas. Incentiva la instalación de sistemas fotovoltaicos y el recambio de calefactores a leña por bombas de calor eléctricas, lo que refleja un fuerte compromiso con la descarbonización y la eficiencia energética. Para el cumplimiento de estas metas es necesario implementar incentivos y normativas concretas, actualizar la infraestructura eléctrica a nivel de distribución, gestionar programas, disponibilizar recursos, avanzar en la aceptación social y la innovación tecnológica.

- ▶ **Estrategia de Transición Energética Residencial de 2020** tiene como objetivo general transitar hacia una matriz térmica residencial más limpia, segura y eficiente, sin embargo, en sus objetivos específicos se dirige básicamente a reemplazar los artefactos a leña. No hay un objetivo específico claro o explícito que apunta a la electrificación, pero se promueve la electrificación implícitamente en dos de los cuatro objetivos específicos de la Estrategia: Habilitar alternativas limpias de calefacción en reemplazo a la leña y Promover edificaciones y equipos eficientes.

La Estrategia incluye incentivos económicos y subsidios para facilitar el reemplazo de la leña, así como iniciativas de educación para sensibilizar a los ciudadanos sobre los beneficios. Sin embargo, puede verse restringida por los altos costos iniciales y la necesidad de incentivos efectivos, especialmente para hogares de bajos recursos. Además, es relevante la expansión y fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para soportar la demanda adicional, al igual que la calidad de la implementación de estándares de eficiencia energética. La Estrategia no tiene



en este sentido un enfoque integral para promover la electrificación.

- ▶ En cuanto a la Planificación Energética de Largo Plazo, proyecta un aumento significativo en el consumo eléctrico debido a la electrificación motriz y de climatización, y plantea un 80% de generación eléctrica renovable para 2030. Esto demuestra un avance hacia una matriz energética más limpia y sostenible, aunque plantea desafíos para la estabilidad del sistema eléctrico. Al igual que en las políticas anteriores, es necesaria la coordinación sólida entre los diferentes actores, el desarrollo de tecnologías para manejar la variabilidad de las energías renovables, y estrategias para asegurar la aceptación pública y el financiamiento adecuado.
- ▶ **Ley 21.667** así como el **Proyecto Ley Subsidio Eléctrico** se dirigen a establecer un subsidio transitorio dirigido a hogares vulnerables, con el propósito de compensar el aumento en los precios de la energía eléctrica durante el periodo 2024-2026. Este subsidio, tiene un carácter de corto plazo y su objetivo es el alivio temporal para los hogares

más afectados. Sin embargo, tampoco aborda de manera integral la mejora de la infraestructura eléctrica o la eficiencia energética, lo que sería esencial para una solución integral.

- ▶ **Ley de Generación Distribuida y la Ley de Eficiencia Energética**, fomentan la adopción de energías renovables en el sector residencial, así como medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios. Estas políticas están diseñadas para integrar la energía renovable a pequeña escala, como paneles solares fotovoltaicos, y mejorar la eficiencia energética en los hogares a través de estándares más estrictos y programas de financiamiento. Ambas presentan desafíos significativos en términos de regulación y cumplimiento. La Ley de Generación Distribuida requiere un marco normativo claro y una integración adecuada con el sistema eléctrico para evitar problemas operativos y para constituir realmente un incentivo para la generación distribuida residencial, mientras que la Ley de Eficiencia Energética debe superar desafíos en la supervisión del cumplimiento y en la coordinación entre instituciones.

- ▶ **Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE)** regula el suministro de electricidad, proporcionando una base para la supervisión, protección de los consumidores y garantía de la calidad del servicio. Asegura la seguridad de las instalaciones eléctricas y promueve la electrificación rural, aunque su enfoque en estas áreas es limitado. Sin embargo, presenta grandes desafíos pendientes, considerando que **no ha sido reformada significativamente desde hace más de 40 años**: carece de incentivos específicos para mejorar la calidad del servicio y la prevención de interrupciones de abastecimiento eléctrico, la adopción de energías renovables en los hogares, no fomenta suficientemente la eficiencia energética y tiene un sistema tarifario rígido que afecta a la introducción de tecnologías eléctricas, la eficiencia del sistema y los costos del consumo eléctrico. Carece además de mayor apoyo a la generación distribuida y la integración de redes inteligentes. Para mejorar la electrificación residencial, la ley debe actualizarse para incluir un enfoque en la sostenibilidad, promover tecnologías limpias y garantizar un acceso más

equitativo, especialmente en zonas rurales y vulnerables.

INSTRUMENTOS

Por su parte, Chile cuenta con más de 30 **instrumentos** que han tenido un impacto en la electrificación residencial, algunos con enfoques transversales (6) y otros con objetivos específicos, dirigidos a la electrificación de edificación y barrios (9), integrar energías renovables en la matriz residencial (2), mejorar la eficiencia energética y la energía limpia en la vivienda (11), influir directamente en el precio comparado de los energéticos (4).

Entre los instrumentos dirigidos a la electrificación de edificación y barrios destacan, por ejemplo, **los programas de recambio de calefactores y electrodomésticos ineficientes**, que promueven tecnologías eléctricas más sostenibles y accesibles. Estos programas están alineados con los objetivos de la Estrategia de Transición Energética Residencial y la Política Energética de Chile 2050. Además, el Programa de



Mejoramiento de Barrios (PMB) de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere) ha sido fundamental para mejorar la infraestructura y la calidad de vida en sectores vulnerables, aunque su sostenibilidad y alcance aún necesitan fortalecerse. En este contexto, el sector inmobiliario ha comenzado a alinearse con esta tendencia, mostrando una mayor inclinación hacia la construcción de **edificaciones "full electric"**. Especialmente en edificios de altura, se evita el uso de gas por razones de simplicidad, menores costos de instalación y mantenimiento, así como por seguridad. Esta tendencia es notable en el segmento de viviendas bajo las 5.000 Unidades de Fomento (UF), que optan por soluciones totalmente eléctricas para calefacción, agua caliente y cocción. Esta evolución se entiende en un contexto de apuntar no solo a mejorar la eficiencia energética de las viviendas, sino que también a contribuir a la reducción de emisiones contaminantes, apoyando la meta de Chile de lograr la neutralidad de carbono para 2050.

Los instrumentos dirigidos a integrar energías renovables en la matriz residencial incluyen

programas específicos como el **programa de Casa Solar** de la Agencia de Sostenibilidad Energética. Este programa ha permitido a las familias adquirir sistemas fotovoltaicos a precios más accesibles, fomentando la autogeneración de energía y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Su éxito se basa en un financiamiento accesible, un proceso de solicitud simplificado, y la capacitación de instaladores.

Hay una **gran variedad de instrumentos dirigidos a la eficiencia energética y la introducción de energía más limpia a nivel de la vivienda**. Por ejemplo, el programa **Refriclaje** incentiva el recambio de refrigeradores ineficientes por modelos más eficientes, ofreciendo incentivos económicos y opciones de financiamiento. Este programa ha logrado reducir el consumo de energía y las facturas de electricidad, además de disminuir las emisiones de GEI al retirar equipos antiguos con refrigerantes de alto impacto ambiental. Estos casos de éxito demuestran la importancia de los subsidios, programas de financiamiento y políticas integradas para fomentar la adopción de tecnologías limpias y mejorar el acceso a la energía en el sector residencial.

Estas iniciativas en la electrificación residencial demuestran la importancia de los subsidios, programas de financiamiento, y políticas integradas para fomentar la adopción de tecnologías limpias y mejorar el acceso a la energía en el sector residencial. **Cada uno de estos programas ha sido efectivo al combinar incentivos económicos con estrategias educativas y de sensibilización, asegurando tanto la equidad como la sostenibilidad en la transición energética**. Para seguir avanzando, se deberá seguir apoyando estos enfoques y adaptarlos continuamente a las necesidades emergentes y a las condiciones locales.



DESAFÍOS ALREDEDOR DE LAS POLÍTICAS E **INSTRUMENTOS EXISTENTES PARA IMPULSAR LA TRANSICIÓN EN CHILE / ¿QUÉ ESTÁ IMPIDIENDO LOS CAMBIOS?**

A pesar de los avances y casos de éxito, **persisten varios desafíos e incoherencias en las políticas e instrumentos de electrificación.** Uno de los principales desafíos es la **pobreza energética**, que sigue afectando a muchas familias, especialmente en áreas rurales y en sectores de bajos ingresos. A pesar de la alta cobertura eléctrica, muchos hogares aún no pueden costear el acceso a electricidad o a tecnologías más limpias y eficientes.

A esto se suma el **reciente aumento de la tarifa de la electricidad**, que puede afectar la viabilidad económica de la electrificación de sistemas de calefacción y cocción especialmente para los hogares con menores ingresos, al incrementar los costos operativos asociados con el uso de tecnologías eléctricas. Las consecuencias pueden incluir una posible resistencia a adoptar nuevas tecnologías, lo que podría ralentizar la transición energética y limitar los beneficios ambientales esperados. Además, un aumento en las tarifas podría profundizar las desigualdades sociales si no se implementan mecanismos de apoyo, como subsidios o tarifas diferenciadas, para mitigar el impacto en los hogares vulnerables. Por lo tanto, es importante que **las políticas relacionadas con la electrificación residencial consideren estos factores y desarrollen estrategias para equilibrar el financiamiento de la infraestructura energética con la promoción**



de una transición accesible para todos los segmentos de la población.

La competitividad del precio de la electricidad en comparación con la leña y el gas también es un factor crítico para la transición a la electrificación residencial, particularmente considerando las variaciones regionales en el uso y costos de estas fuentes de energía.

A pesar de la implementación de programas y políticas que promueven el uso de tecnologías eléctricas más limpias y eficientes, como el recambio de calefactores y la



promoción de electrodomésticos eficientes, **muchas de estas iniciativas carecen de seguimiento a largo plazo**, lo que dificulta su impacto sostenido. La discontinuidad de los subsidios, la falta de actualizaciones regulares en los marcos normativos y la limitada coordinación interministerial contribuyen a que estas políticas pierdan efectividad con el tiempo.

XPor último, la **desinformación en la sociedad sobre la costo-efectividad de los equipos de cocción y calefacción**, según el tipo de energético utilizado, es un obstáculo para

la transición a la electrificación residencial en cocción y calefacción. Muchos hogares aún desconocen los costos a largo plazo de los equipos que utilizan gas, leña o electricidad, lo que los lleva a optar por opciones aparentemente más económicas, como la leña o el gas, sin considerar su menor eficiencia y mayores costos operativos en el tiempo. La **falta de conocimiento sobre el ahorro energético y económico** que ofrecen alternativas eléctricas, como las bombas de calor o las cocinas eléctricas, impide una mayor implementación de estas tecnologías.

PROPUESTAS PARA HABILITAR (Y ACELERAR) LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL EN CHILE / ¿QUÉ CAMBIOS NECESITAMOS?

Para mejorar la efectividad de las políticas de electrificación residencial, se requieren varias modificaciones y ajustes en los instrumentos de política existentes.



1

PRIMERO, es necesario contar con una Estrategia de Transición Energética Residencial clara y con proceso de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). A pesar de la existencia de varias estrategias relacionadas, no hay claridad en cuanto a metas de electrificación y, excepto por la Política Energética Nacional y la Estrategia Climática de Largo Plazo, no hay monitoreo y obligatoriedad de implementación de estas Estrategias.

2

SEGUNDO, es importante fortalecer la infraestructura de distribución eléctrica para soportar el aumento en la demanda que resulta de la electrificación residencial. Esto implica expandir y modernizar la infraestructura actual, asegurando que sea capaz de manejar la creciente carga energética de manera eficiente y sostenible.

3

TERCERO, se necesita un enfoque más fuerte en la creación de incentivos y el financiamiento para la adopción de tecnologías limpias, como sistemas de almacenamiento de energía y electrodomésticos eficientes.

4

CUARTO, es relevante fortalecer los programas de recambio y de normalización de instalaciones. Otra modificación sería la reactivación del Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB) o ajuste del Programa de Mejoramiento de Viviendas y Barrios de Ministerio de Vivienda y Urbanismo para incluir el financiamiento de la normalización de instalaciones eléctricas interiores en las viviendas, lo que permitiría cerrar una brecha importante en el acceso a la red eléctrica para muchas familias vulnerables.

Las propuestas específicas se encuentran en la [Tabla 3 del Informe de Políticas de Chile](#).





5

QUINTO. se requieren reformas normativas para fomentar una mayor participación de las empresas energéticas en la mejora de la infraestructura de electrificación y para proteger a los consumidores durante la transición energética. Ajustes legales que faciliten la inversión en nuevas tecnologías y aseguren un marco regulatorio claro y justo son esenciales para apoyar el desarrollo de un sistema energético más resiliente y sostenible en Chile.

6

SEXTO. es la ampliación de campañas de educación y sensibilización pública sobre los beneficios de la electrificación y la eficiencia energética. Es importante enfocarse en áreas rurales y grupos socioeconómicos vulnerables, donde el conocimiento y la adopción de tecnologías limpias pueden ser más bajos. Estas campañas permitirán una adopción más amplia y equitativa de soluciones sostenibles, asegurando que todos los sectores de la sociedad se beneficien de los avances tecnológicos y energéticos.

7

SÉPTIMO. la mejora de la coordinación interinstitucional requiere reforzar la colaboración entre diversas entidades gubernamentales y privadas, así como la implementación de mecanismos claros de monitoreo y evaluación. Esto asegurará que los programas y políticas de electrificación se ejecuten de manera coherente y eficiente, optimizando sus beneficios y minimizando cualquier solapamiento o ineficiencia. Además, es importante garantizar la continuidad de las iniciativas, adoptando un enfoque a largo plazo que promueva la inversión en infraestructura, incentivos económicos sostenidos y la integración de tecnologías emergentes.

8

OCTAVO. la aplicación de un impuesto al carbono es esencial para reflejar mejor los costos reales de las alternativas energéticas. En Chile el impuesto al carbono se aplica sólo a nivel de las emisiones de emisores grandes, no al contenido de carbono de los combustibles y por lo tanto no a nivel residencial. Se requiere ajustar esta situación y se requiere aumentar el monto del impuesto de manera importante.

ANÁLISIS COSTO- BENEFICIO E IMPACTOS DE LAS PROPUESTAS A **LOS INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS EN CHILE / ¿QUÉ PODEMOS PILOTEAR Y QUÉ RESULTADOS OBTENDRÍAMOS?**

Se efectuó un análisis de costos y beneficios de instrumentos para definir la viabilidad y conveniencia económica de algunos de los programas propuestos.

COMPARACIÓN DE RECAMBIO CALEFACTORES A PELLET VS AIRE ACONDICIONADO

- ▶ Los costos totales estimados al recambio de aire acondicionado serían de 20,86 MM USD mientras que el costo actual del recambio a pellet se estima en 24,54 MM USD, generando una **diferencia de 3,68 MM USD**.
- ▶ Los **beneficios generados por impactos en la salud** fueron cuantificados en 76,88 MM USD para el recambio de calefactores a Pellet y en 98,07 MM USD para el recambio de aires acondicionados, generando una **diferencia de 21,19 MM USD**. Los beneficios en salud consideran la disminución de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad perdida de la población.
- ▶ Podrían evitarse aproximadamente **367 toneladas de MP 2.5 y 286.415 toneladas de CO2 equivalente**. Considerando los costos y beneficios económicos antes mencionados, los VAN de ambos proyectos son positivos y tienen una

diferencia de 24,87 MM USD del recambio de aire acondicionado frente a los calefactores a pellet. Para estos cálculos se considera una operación de 10 años.

REEMPLAZO DE CALEFACTORES ELÉCTRICO POR AIRES ACONDICIONADOS

- ▶ Los costos totales estimados para el recambio de 20.000 aires acondicionados es de 12,2 MM USD con un costo para el estado de 3,98 MM USD debido a los subsidios y gastos de administración (5,63%). Estos recambios generan un **ahorro de 595 dólares** anuales en calefacción por vivienda beneficiada con un **payback de 11,6 meses** respecto a la inversión inicial que hace el beneficiado (\$519.600 pesos). En términos de emisiones, el programa **evitaría 11.390 tCO₂eq anuales** aproximadamente.

PROGRAMA DE RECAMBIO DE COCINAS A GAS POR COCINAS ELÉCTRICAS

- ▶ Los costos totales estimados para el recambio de 10.000 cocinas a inducción es de 2,91 MM USD con costos para el estado de 1,03 MM USD. En términos de emisiones, con el programa se **evitarían 689 tCO₂eq/año asociadas al CO₂, 0,599 tCO₂eq/año asociadas al Metano (CH₄), 1,84 ton/año de Benceno, 22.287 ton/año de CO y 0,035 kg/año de NO₂**. No se genera ahorro mensual para los beneficiados (al contrario, es 11 dólares más cara anualmente la energía para la cocina a inducción que el GLP)

[Los detalles del cálculo de costos e impactos se encuentran en la sección III.3 del Informe de Políticas de Chile.](#)



COSTO / EFICIENCIA DE LAS COCINAS ELÉCTRICAS

Al analizar las tecnologías de cocción, se observa que las cocinas a gas, con una eficiencia del 42.7%, generan 0.215 kg de CO₂-eq por unidad de energía útil, mientras que las cocinas de inducción, con una eficiencia del 79.7%, producen solo 0.145 kg de CO₂-eq, logrando una reducción del 32.6%, tomando en cuenta los factores de emisión de electricidad actuales. Con mayor integración de energías renovables estos factores están bajando cada vez más. Esto evidencia que avanzar hacia la electrificación de los sistemas de cocción, especialmente con tecnologías eficientes como las cocinas de inducción, puede hacer una contribución para disminuir las emisiones en los hogares chilenos y contribuir al cumplimiento de los objetivos climáticos del país.

COCINAS A GAS CON UNA EFICIENCIA DE

42.7%

Generan 0.215 kg de CO₂-eq por unidad de energía útil.



COCINAS DE INDUCCIÓN CON UNA EFICIENCIA DE

79.7%

Producen solo 0.145 kg de CO₂-eq, logrando una reducción del 32.6%



CONCLUSIONES POLÍTICAS CHILE

Chile ha realizado avances en la implementación de políticas orientadas a la electrificación residencial, con el objetivo de reducir emisiones de GEI y mejorar la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables. Políticas como la Política Energética de Chile 2050, el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026, el Proyecto Ley Subsidio Eléctrico, la Ley de Generación Distribuida y la Ley de Eficiencia Energética, junto con distintos instrumentos existentes, han sido fundamentales en este proceso. Sin embargo, a pesar de estos avances, **no ha habido una estrategia clara y sistemática hacia la electrificación residencial, lo cual hace que actualmente el uso de artefactos eléctricos aún es relativamente bajo a nivel residencial**, tanto en calefacción como en cocción.

Los instrumentos para asegurar avances más significativos, son diversos y deben ser implementados en paralelo. Aún persisten desafíos importantes que deben ser abordados para acelerar esta transición hacia un sistema energético más limpio y equitativo.

Se identificaron brechas en la infraestructura de redes de distribución, en la normalización de sistemas eléctricos y en la competitividad del precio de la electricidad frente a otros combustibles como el gas y la leña. Además, se resalta la necesidad de mejorar el conocimiento público sobre los impactos ambientales y de salud asociados a los actuales sistemas de cocción y calefacción. También se destaca que, a pesar de los esfuerzos, se requiere una **mejor coordinación interinstitucional** y un enfoque integral que aborde tanto las dimensiones sociales como ambientales de la electrificación.

Ante estas brechas, se propusieron y evaluaron mejoras y nuevos instrumentos,

que fueron priorizados en un taller estratégico y se analizaron económicamente los cuatro instrumentos más destacados.

Más allá de los instrumentos específicos que se proponen, se debe tener en cuenta la relevancia de **avanzar de una manera integral** en el tema. Si se implementan sólo dos o tres de los instrumentos, no se avanzará de la manera esperada. No hay uno o dos instrumentos que pueden generar un cambio significativo, sino es el conjunto de instrumentos que genera un cambio relevante. Además, los instrumentos tienen caracteres diferentes y será relevante avanzar con instrumentos de gestión que no requieren de cambios legales lo antes posible, mientras que se estén elaborando y discutiendo los cambios legales. Especialmente considerando el reciente aumento significativo en las tarifas eléctricas, se recomienda por ejemplo combinar recambios de artefactos con mayor introducción de techos solares (Programa Casa Solar)

A pesar de la importancia específica de la transición explícita hacia la electrificación, se debe mantener la mirada amplia hacia la transición energética hacia energías limpias a nivel general. Esto porque hay distintas opciones de energía limpia fuera de la electrificación, como lo son el uso del hidrógeno, el uso de la energía distrital, o la energía solar térmica para el agua caliente sanitaria. Sin embargo, excepto la energía solar térmica, la cual también sustituye los



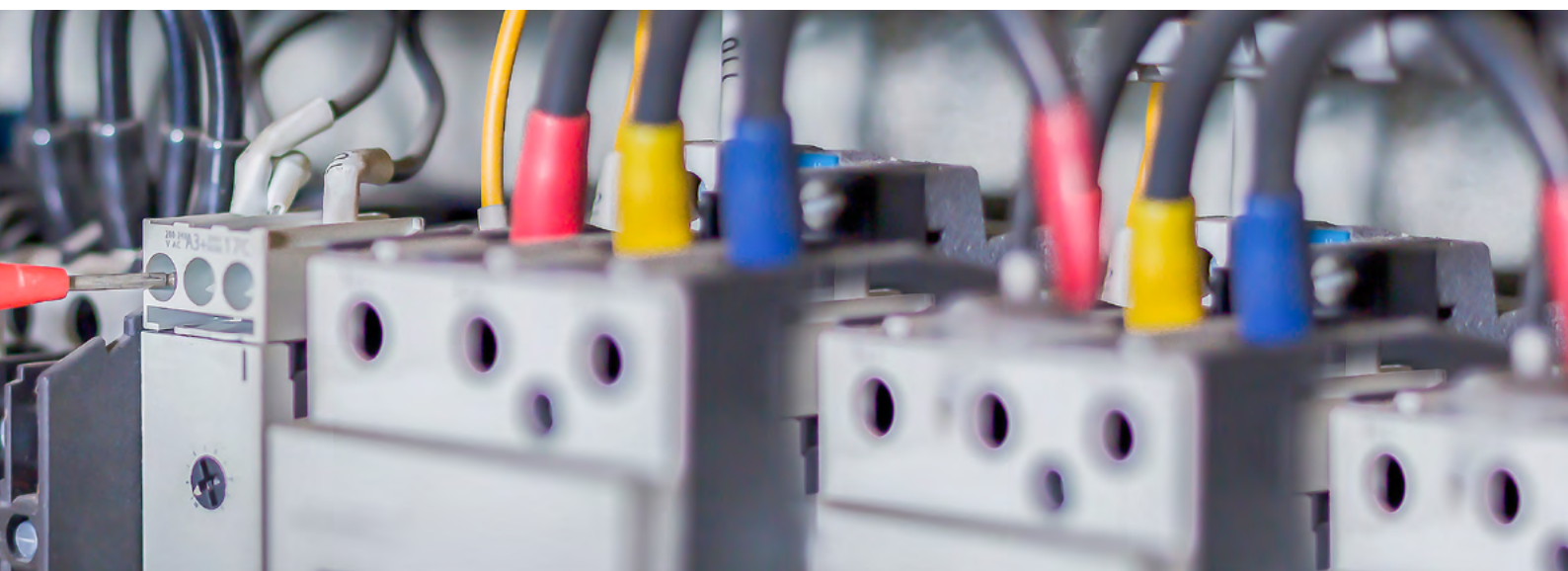
combustibles fósiles y que se ha introducido algo más masivamente en Chile, los autores del presente estudio consideran que estas opciones en particular se pueden considerar hoy día aún poco competitivas y marginales y todavía hay mucha incertidumbre especialmente en lo relativo a la viabilidad comercial del hidrógeno en el futuro cercano en el ámbito de la energía residencial.

Se visualiza también la necesidad de **medidas acompañantes**, tanto a nivel técnico como a nivel socio-ambiental. Por un lado, la mayor electrificación tiene que ser acompañada necesariamente, aunque se haga con aumentos en eficiencia energética, por **aumentos de potencia a nivel domiciliario**. Por otro lado, mirando la cadena de producción aguas arriba, existirá mayor demanda por plantas de energías renovables, lo cual implica un **desafío socio-ambiental considerando los conflictos sociales y socio-ambientales que enfrentan los proyectos energéticos** en los territorios. Además, el proceso debe ir acompañado de **medidas de capacitación y educativas** que fomenten por un lado una buena implementación, de calidad, asegurando mantención en el tiempo de las tecnologías que se ofrecen, y por otra lado la **adopción social de nuevas tecnologías** y de un marco regulatorio que asegure el acceso equitativo y eficiente a los recursos energéticos.

En el marco de la transición energética hacia fuentes más limpias, es evidente

que el gas y la leña son relevantes en la matriz energética residencial chilena. Es complicado argumentar en contra del uso de estos combustibles sin considerar tanto los aspectos técnicos y económicos como el impacto social de esta transición. Por ello, en lugar de eliminar su uso de forma radical, es preferible proponer un **cambio gradual y sistémico**. Las energías limpias deben ser promovidas como alternativas viables, respaldadas por inversiones en infraestructura y la creación de incentivos que permitan que estos cambios sean paulatinos, asegurando una adopción efectiva sin generar un impacto negativo en los sectores más vulnerables.

Es necesario **fortalecer los instrumentos existentes**, para hacer un buen uso de recursos y aprovechar estructuras y experiencias ya desarrolladas. Complementario a esto se desarrollarán nuevos mecanismos que promuevan la inversión en tecnologías limpias y la modernización de la infraestructura energética. Finalmente, se destaca la importancia de una sólida articulación entre los actores públicos y privados para garantizar la sostenibilidad de las iniciativas y su implementación efectiva a largo plazo. No solo se trata de un mercado altamente atomizado, sino también participan en la articulación de los diversos instrumentos necesarios, numerosos ministerios y servicios públicos.





TRANSICIÓN ENERGÉTICA A NIVEL RESIDENCIAL

Cocción y Calefacción
en América Latina

UNA INICIATIVA DE:



IMPLEMENTADO POR:

