



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

# REPORTE ESPECÍFICO DE AVANCES MEDICIÓN, CHILE

Towards the electrification of gas appliances in Latin America: a narrative from the Global South.

UNA INICIATIVA DE:



IMPLEMENTADO POR:



**EBP** 

**30 años** |  **futuro**  
latinoamericano

Cristóbal Galbán Malagón, Universidad Mayor

Estela Blanco, Universidad Mayor, Chile.

Paola Valencia, EBP Chile.

Nicola Borregaard, EBP Chile.

Fecha, diciembre 2024, Santiago de Chile.

# 1. INTRODUCCIÓN:

## a. Contexto

El uso de combustibles fósiles en electrodomésticos es una fuente importante de gases de efecto invernadero y contaminantes como el metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), contribuyen al cambio climático y a los problemas de calidad del aire interior de las edificaciones. Investigaciones recientes han demostrado que incluso cuando están apagados, los calentadores de gas (Lu et al., 2020) y las estufas y hornos de gas (Jackson et al., 2022) siguen filtrando metano y benceno a los hogares. Por otra parte, la exposición al  $\text{NO}_2$  de las estufas de gas se ha relacionado con un mayor riesgo de asma en los niños (Gruenwald, et al., 2022). Los calefactores interiores a gas, comunes en el mundo en desarrollo, son fuentes masivas de mayor exposición a la contaminación del aire interior (Ruiz et al., 2010). Se estima que la electrificación de aparatos para cocinar y para calefaccionar traerán mejores resultados de salud (Smith, et al., 2022). Esto ha llevado a los defensores del clima y la salud a promover la electrificación de los equipos de uso doméstico que actualmente utilizan combustibles fósiles. Diferentes países, como Dinamarca, Alemania y Países Bajos, han tomado medidas para establecer regulaciones asociadas a este cambio. Sin embargo, el mundo en desarrollo se ha quedado rezagado en este debate y puede verse atrapado en una infraestructura obsoleta y en la dependencia de combustibles fósiles importados. Además, si bien la narrativa para apoyar la electrificación en el Norte global se ha centrado en los efectos climáticos y de salud, en el Sur Global la narrativa es diferente y más diversa, y los mensajes y las estrategias han sido en gran medida inexplorados. Este proyecto tiene como objetivo, por medio de evidencia científica, entregar los insumos para que países como Chile, Colombia y Brasil adopten programas para apoyar la eliminación gradual del uso de combustibles sólidos y electrodomésticos a gas natural en favor de alternativas totalmente eléctricas y eficientes.

## b. Contexto Chile

En el caso de Chile, las emisiones de metano alcanzaron 14.946 kt  $\text{CO}_2$ -eq en 2020, lo que representa aproximadamente el 14% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) en el país. Desde 1990, estas emisiones han crecido un 27%, y un 13% desde 2010. Según el inventario nacional, la mayor parte de estas emisiones proviene de los sitios de disposición de residuos sólidos (39%), seguido por la fermentación entérica (30%), el tratamiento y descarga de aguas residuales (9%), la gestión de estiércol (9%), las emisiones fugitivas relacionadas con el petróleo y gas natural (6%) y la quema de combustibles (5%).

En el sector residencial, en 2020 se emitieron 607.77 kt  $\text{CO}_2$ -eq y 4182 kt de  $\text{CO}_2$  debido al uso de gas natural, el cual ha ido aumentando en los últimos años hasta representar 34% del consumo total en 2021. El número de clientes residenciales en 2020 alcanzó 777,257, mientras que los clientes industriales sumaron solo 19,606. Sin embargo, el consumo total del sector industrial fue significativamente mayor, con 797.0 millones de  $\text{m}^3$ , frente a los 230.9 millones de  $\text{m}^3$  consumidos por el sector residencial. La mayor parte del consumo residencial se concentra en la Región Metropolitana, que representa el 82.45%, seguida por la Región de Valparaíso con 16.12%, mientras que el resto de las regiones suman solo el 1.42% del total.

Chile ha fortalecido su compromiso climático en línea con el Pacto de Glasgow y bajo el Acuerdo de París, con el objetivo de revertir la tendencia creciente de emisiones de metano para 2025. Entre las medidas propuestas se encuentran la reducción de residuos orgánicos, la captura de emisiones en vertederos, y la implementación de tecnologías en el sector agrícola para disminuir las emisiones

provenientes del ganado. En el sector energético, se prevén controles para reducir las emisiones fugitivas y mitigar la quema de combustibles fósiles. Estas acciones refuerzan el compromiso de Chile con sus metas climáticas y la transición hacia una economía más sostenible (Cardemil, 2023).

### c. Descripción proyecto monitoreo

Para respaldar la evidencia científica, se conformó un equipo con expertos en monitoreo de contaminantes globales y locales de las universidades de; Universidad de Stanford desde Estados Unidos, Universidad Mayor desde Chile, Universidad de los Andes desde Colombia y la Universidad de Sao Paulo desde 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.

El proyecto de monitoreo consiste en monitorear metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) y monóxido de carbono (CO) generadas por la combustión de cocinas a gas natural en los tres países. Este monitoreo es muy relevante dado que no existe registro de parte de estos gases producto de uso doméstico en Latinoamérica. En particular las mediciones se distribuirán de la siguiente Manera:

*Tabla 1 Distribución de mediciones y tipos de gases a medir.*

PAÍS	CANTIDAD DE VIVIENDAS/CIUDAD	GASES A MONITOREAR
Chile	30 en Santiago	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , CO y en algunas viviendas C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> .
	15 en Temuco	
Brasil	30 en Sao Pablo	NO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub>
Colombia	20 en Bogotá	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> + NO <sub>2</sub> y CO

## d. Planificación monitoreo (Gantt)

### Cronograma de Actividades

Subactividad	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	Enero	Febr
<b>2. Mediciones</b>												
2.0. Coordinación grupo	[Green bar]											
2.1. Reunión metodológica y traspaso de detalles	[Green bar]											
2.2. Planificación de detalle para mediciones	[Green bar]											
2.3. Recopilación de datos necesarios	[Green bar]											
2.4. Identificación de viviendas (CL, BR, CO)	[Green bar]											
2.5. Procesar importación de los aparatos de medición	[Green bar]											
2.6. Mediciones Chile	[Green bar]											
Visita Standford	[Green bar]											
Primera Etapa Santiago	[Green bar]											
Temuco	[Green bar]											
Segunda Etapa Santiago	[Green bar]											
Visita equipo colombiano	[Green bar]											
2.7. Mediciones Brasil	[Green bar]											
2.8. Mediciones Colombia	[Green bar]											
2.9. Informes	[Green bar]											
2.9.1. Informes Chile	[Green bar]											
2.9.2. Informes Brasil,	[Green bar]											
2.9.3. Informes Colombia	[Green bar]											
2.10. Informe consolidado	[Green bar]											
2.11. Papers académicos	[Green bar]											
2.12. Reuniones periódicas grupo mediciones	[Green bar]											

## 2. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

### a. Protocolo de monitoreo

Con el objetivo de llevar a cabo un correcto monitoreo de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  y de  $\text{C}_6\text{H}_6$  de las fugas de cocinas de gas neutral se definió utilizar un protocolo adaptado para el caso de Chile basándose en trabajos previos realizados en otros países (Kashtan et al., 2023; Lebel et al., 2022 y Kashtan et al., 2024). Una vez instalados los equipos y las conducciones para los análisis se realiza una ventilación de la cocina utilizando ventiladores y abriendo ventanas para obtener los niveles basales de los gases a medir ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y benceno). Luego se procede a tomar las mediciones hasta observar una estabilización en ellas, etapa denominada "basales". Esta etapa se repite después de cada ventilación que se realice entre las mediciones. La medición "basal" de benceno dura más tiempo y se realiza dos veces al inicio de esta. Cuando se alcanza una concentración estable, se sella la cocina para iniciar la etapa estacionaria de apagado ("Estado Estacionario off"). Esta etapa consiste en observar las mediciones de los gases, con el espacio cerrado y los quemadores apagados, bajo circulación constante. Este proceso dura alrededor de 10 minutos. Una vez completada la etapa de "Estado Estacionario off", se ingresa a la cocina y se enciende el quemador más grande. Para replicar mejor las condiciones de uso cotidiano, se colocó una olla con agua sobre el quemador durante esta fase simulando el efecto de cocinar. Durante este proceso de encendido y por efecto de la combustión de Gas Natural Licuado (GNL), las concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , benceno y  $\text{CH}_4$  aumentan con el encendido del quemador, alcanzando un máximo o "peak". Esto ocurre porque estos gases son productos secundarios de la reacción química y parte del gas licuado utilizado (Kashtan et al., 2023). Por lo tanto, se monitorean estos gases para observar su comportamiento y controlar la medición.

Cuando la concentración de estos gases comienza a decaer, lo que ocurre unos minutos después del encendido del quemador y las concentraciones se estabilizan, se desocupa y cierra la cocina para iniciar la toma de tiempo de esta etapa de medición, que dura aproximadamente 10 minutos. El analizador Pyxis recopila 3 puntos de datos donde cada uno es registrado cada 12 minutos aproximadamente. Entonces, cada ciclo de medición (desde el Estado estacionario On hasta el decaimiento de  $\text{N}_2\text{O}$ ) para el benceno dura 60 minutos.

Después de finalizar la etapa de "Steady state on", se ingresa a la cocina y se apaga el quemador, esperando unos diez segundos antes de salir. Al mismo tiempo, se prepara una jeringa con un volumen de 200 a 300 ml de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que se utiliza como gas estándar en la medición, y se inyecta sobre los quemadores de la cocina. Desde afuera, se observa cómo la concentración de  $\text{N}_2\text{O}$  sube hasta alcanzar un máximo. Cuando este gas se mezcla con el aire del interior de la cocina, las concentraciones disminuyen y se estabilizan. A partir de la estabilización de las concentraciones de  $\text{N}_2\text{O}$ , se midió el tiempo durante unos 10 minutos, en una etapa denominada "decaimiento de  $\text{N}_2\text{O}$ " ( $\text{N}_2\text{O}$  decay). Luego del decaimiento de  $\text{N}_2\text{O}$ , se ventila nuevamente la cocina abriendo ventanas, plásticos (en caso de haber) o puertas, para que el aire circulara nuevamente y las concentraciones de los gases bajaran y se estabilizaran para medir una nueva etapa de "background" o concentración de fondo. El procedimiento anterior se repite hasta haber medido los gases, idealmente en todos los quemadores de la cocina.

## b. Definición de equipos

### Equipamiento usado para la toma de muestras

Debido que en este estudio se analizaron las emisiones y fugas de; metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) y monóxido de carbono (CO), así como la temperatura y la humedad relativa en la cocina, para cada muestreo se realizaron mediciones utilizando diferentes equipos según su propiedad y disponibilidad. Los equipos fueron seleccionados debido a sus sensibilidades ante pequeños cambios de temperatura y por tener características similares en los rangos de medición y la calibración de los mismos.

*Tabla 2 Especificaciones de los equipos de medición utilizados en la campaña de medición en Chile.*

GAS	FABRICANTE	MODELO	PRINCIPIO DE DETECCIÓN	PRECISIÓN*
CH <sub>4</sub>	Aeris	Pico Mobile LDS	Espectroscopía NDIR	±0 a 100 ppm
	LICOR	LI7810	Espectroscopia de Absorción	±0 ppb a 100 ppm
CO <sub>2</sub>	Li-COR	LI7810	Espectroscopia de Absorción	±10 ppm a 10.000 ppm
	Aeris	Pico Mobile LDS	Espectroscopia de Absorción	± 0 ppm a 10.000 ppm
CO	Li-COR	Pico Mobile LDS	Espectroscopia de Absorción	± 1ppm a 500 ppm
	Thermo	Thermo Analyzer 48i	Espectroscopía NDIR	±0 A 10.000 ppm
NO, NO <sub>2</sub> , para determinar NO <sub>x</sub> emitido	Thermo	Thermo Analyzer 42iQ	Quimoluminiscencia	±0 a 1000 ppm
Benceno	Pyxis	GC BTEX	Detector de Fotoionización	±1-200 ppb
Temperatura	Onset	HOBO U10 datalogger	Termistor	± 0.53°C

## c. Definición de elementos de muestreo.

Se definieron muestreos en cocinas donde se define cocina una habitación diseñada y equipada específicamente para la preparación, cocción y, en algunos casos, almacenamiento de alimentos. Generalmente, una cocina incluye electrodomésticos como artefacto estufa<sup>1</sup> o artefacto cocina, hornos, refrigeradores y microondas, así como superficies de trabajo, fregaderos, y gabinetes para almacenar utensilios y alimentos. La cocina es un área central en el hogar, utilizada tanto para la preparación de comidas.

Dentro de la cocina centramos el estudio en diferentes tipos de artefactos estufas, concretamente estufas que usan gas natural como combustible para calentar y cocinar los alimentos. Definimos una "estufa" como una superficie plana que contiene entre 2 y 6 elementos de cocción individuales

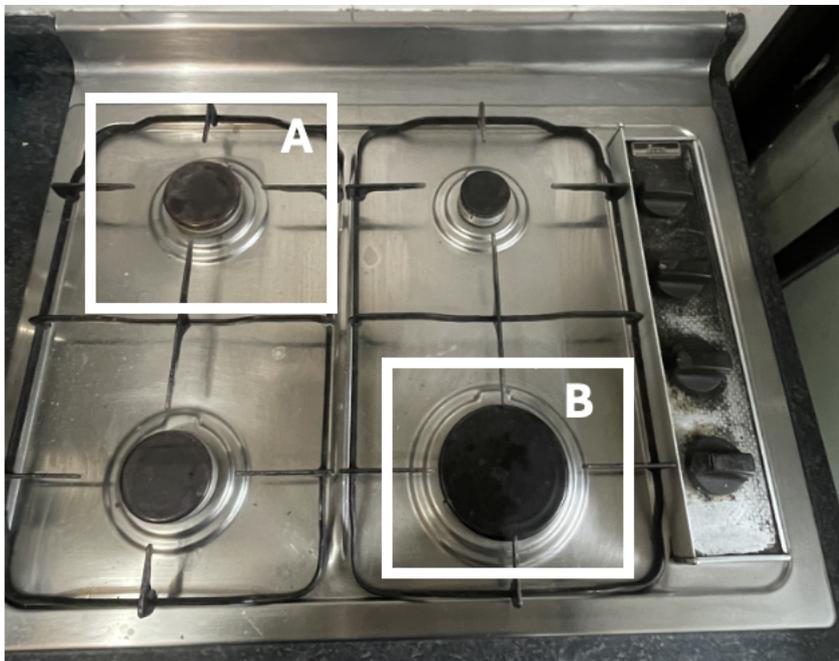
<sup>1</sup> Para efecto del presente estudio se utilizará el concepto artefacto estufa en vez de artefacto cocina, para evitar conflictos con el nombre de recinto cocina.

denominaos “quemadores”. Los “quemadores” son aquellos elementos cocción que utilizan una llama de gas para cocinar y que son el objeto de análisis del presente estudio.

Por otra parte, se analizaron dos tipos de recintos de cocinas durante el muestreo, aquellas que son abiertas y las que son cerradas (Ver sección protocolo de muestreo para aclaración de las estrategias realizadas en cada una de ellas).

#### **d. Definición de muestra**

Cada unidad muestral se establece como una unidad cocina con un “artefacto estufa a gas natural” donde se realizan mediciones en dos quemadores los cuales se usan en modo alto de poder calorífico y bajo poder calorífico para estimar las emisiones y fugas desde los mismos siguiendo metodologías previamente establecidas (Lebel et al., 2022, Kashtan et al., 2023) (Figura 1).



*Figura 1 A quemador de menor tamaño y quemador de mayor tamaño de una de las cocinas usadas para la toma de muestras en Santiago de Chile (Foto tomada por Abenezzer Shankute)*

#### **e. Selección y caracterización de viviendas**

##### **e.1 Campaña de difusión y selección de voluntarios**

En primer lugar, se realizó una campaña de difusión, que consistió en publicar en RRSS de EBP información sobre el proyecto con el fin de captar voluntarios, además se enviaron correos electrónicos a contactos de las bases de datos de la Universidad Mayor (sede Santiago y Temuco), EBP Chile, y contactos de tres municipalidades (Cerro Navia, Renca, y Temuco). Se presenta a continuación las gráficas utilizadas y la carátula del formulario de inscripción, el cual se puede revisar en el **Anexo 1: Formulario de inscripción de voluntarios**.



Figura 2 Gráfica de Difusión utilizada en emails y RRSS y portada formulario de inscripción

La primera Campaña de difusión para Chile fue desarrollada entre el 23 de abril hasta el 09 de mayo del 2024. En este periodo se logró registrar 24 voluntarios para la región metropolitana (RM) y 10 voluntarios para Temuco.

La caracterización de los voluntarios interesados de la RM estuvo representada por 15 comunas; Las Condes, La Reina, Vitacura, Ñuñoa, Maipú, Conchalí, Quinta Normal, San Joaquín, Santiago, Lo Barnechea, Recoleta, San Bernardo, Renca, Cerrillos y La Florida. Con 19,5% de representatividad en Renca y Las Condes y 14,6 en Ñuñoa. En el caso de Temuco 9 voluntarios eran de Temuco y uno de Padre de la Casas (Figura 2).

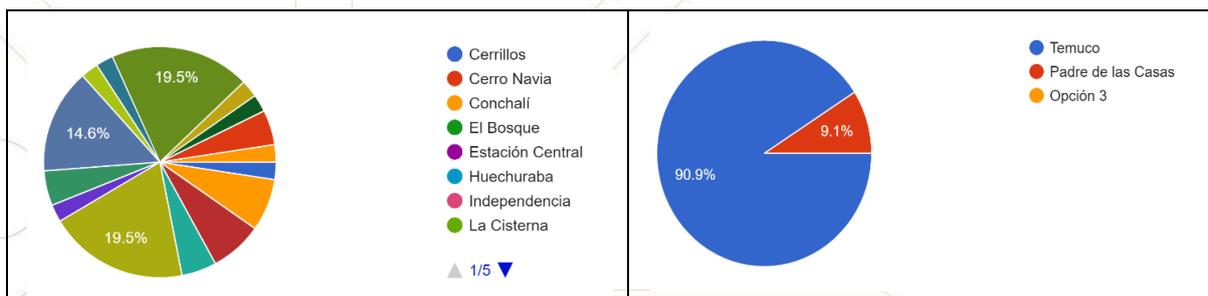


Figura 3 Gráfico de distribución comunal de voluntarios en Santiago

Por otra parte, se levantó que el 55% de las viviendas eran casas y el 45% departamentos. En cuanto a materialidad se obtuvo que el 63% era en hormigón, el 28% en ladrillo y sólo el 9% en madera, estas últimas ubicadas principalmente en Temuco. Otro dato relevante de la caracterización de las viviendas es que el 57% de ellas eran construidas antes del año 2007, lo que determinaba que tenían, pero condición de aislación térmica.

Los últimos datos importantes registrados fueron que el 59% de las cocinas eran recintos cerrados y sólo 41 abiertos y finalmente el más relevante fue que el 33% de los voluntarios declaró no contar con cocina a gas natural, lo que obligó a buscar otros mecanismos de selección basados principalmente en contactos conocidos de los investigadores del proyecto.

## e.2 Caracterización de viviendas y cocinas

Con el objeto de contar con una muestra representativa de los diferentes tipos de viviendas y cocinas en las dos ciudades seleccionadas de Chile y de identificar los factores que podrían influir en la calidad de aire interior de las viviendas. Se realizó un análisis de la representatividad de tipologías de viviendas que se basó en cuatro factores: el estrato social de la comuna, tipo de vivienda (casa o departamento), tipo de materialidad (ladrillo, hormigón, madera), año de construcción (<2007 o >2007), este punto es relevante dado que es el año donde cambió la reglamentación térmica de viviendas en Chile y a partir de esa fecha las viviendas cuentan con mejor estándar térmico de envolvente. Además, las viviendas fueron caracterizadas según zona urbana (Santiago o Temuco), tipo de cocina (abierta o cerrada) y si contaban con gas natural o gas licuado.

Tabla 3 Descripción de las viviendas analizadas hasta 31 de agosto 2024 (n=45)

CARACTERÍSTICA	n (%)
<b>Ciudad</b>	
Santiago	34 (75%)
Temuco	11 (25%)
<b>Comunas de Santiago</b>	
Ñuñoa	9 (26%)
Vitacura	8 (23%)
Las Condes	7 (20%)
Providencia	3 (9%)
Renca	2 (6%)
La Reina	2 (6%)
Lo Barnechea	1 (3%)
Peñalolén	1 (3%)
La Florida	1 (3%)
<b>Tipo de vivienda</b>	
Casa	29 (65%)
Departamento	16 (35%)
<b>Tipo de cocina</b>	
Abierta	14 (31%)
Departamento	31 (69%)
<b>Marca de cocina</b>	
Teka	8 (18%)
Trotter	4 (9%)
FDV	4 (9%)
Fensa	4 (9%)
Mademsa	4 (9%)
Otro	21 (46%)
<b>¿Cuántos años tiene su cocina?</b>	
<=3 años	7 (22%)
4-6	12 (38%)
7-9	1 (3%)
10+	11 (35%)

CARACTERÍSTICA	n (%)
¿Cómo se enciende su cocina?	
Chispa eléctrica	22 (70%)
Una luz piloto	1 (3%)
A mano	8 (25%)
¿Cuántas personas viven en la vivienda?	
1	2 (6%)
2	8 (25%)
3-4	19 (61%)
5+	2 (6%)

Fuente: Elaboración propia.

Una vez caracterizadas todas las viviendas se identificó que el 98% contaba con gas natural por lo que se debió continuar con la campaña, ya que se requería que todas las viviendas contarán con gas natural.

### e.3 Contacto con voluntarios post selección

Una vez definido los voluntarios finales, el equipo de investigadores se comunicó con las personas interesadas para confirmar que sus viviendas cumplieran con el principal criterio de inclusión que es tener una cocina conectada a la red de gas natural. Luego de esa confirmación, se procedió con la entrega de mayor información sobre el estudio y con agendar la visita.

Además, se explicó que el muestreo se hacía en 3 horas por lo que se realizaba en dos opciones de turnos, uno en la mañana (llegada a las 9:00) y el segundo en la tarde (llegada a las 14:00). Por otra parte, se informó que el equipo de trabajo llevaba todos los instrumentos y accesorios necesarios para realizar los muestreos. Adicionalmente, se informó que los residentes de las viviendas no podían entrar a la cocina durante el muestreo (3 horas aproximadamente). El día anterior del muestreo, se informó los nombres de los técnicos que visitaban las viviendas y la hora de llegada a cada una.

El día de la visita, al llegar a la vivienda, se solicitó a cada dueño/la dueña de casa la firma del formulario de consentimiento (**Anexo 3: Formularios de Consentimiento Informado**), en el cual se explica los detalles del proyecto y se solicita autorización para tomar fotos en la vivienda. Complementario a lo anterior, se solicitaba al dueño de la vivienda contestar una breve encuesta (**Anexo 5: Formulario de caracterización vivienda seleccionada**) para caracterizar la vivienda.

Este protocolo fue revisado y aprobado por el Comité Ético Científico Institucional de la Universidad Mayor (**Anexo 2: Aprobación del Comité Ético Científico, Universidad Mayor**). **Comunicación post monitoreo**

Se mandará un informe con los resultados resumidos para cada vivienda (ejemplo **Anexo 4: Ejemplo de informe para viviendas**). El informe muestra la tasa de emisión y percentil de la medición de cada cocina. Se explica que la tasa de emisión es la tasa a la que se forma un contaminante a lo largo del tiempo y que se expresan las tasas de emisión en miligramos de contaminante formado por hora de encendido del quemador. El percentil es un valor estadístico que se utiliza para explicar cómo se comparan las tasas de emisión de cada contaminante de la cocina con otras cocinas que medimos en diferentes hogares. Por ejemplo, si el quemador está en el percentil 50, el 50 % de las cocinas que medimos tienen una tasa de emisión por encima y 50% tienen una tasa por debajo de su quemador. De manera similar, un percentil 90 para un contaminante en específico significa que el quemador

produjo más de ese contaminante que el 90% de las cocinas que medimos. Actualmente estamos en proceso de realización de los informes.

## f. Metodología propuesta de muestreos y tamaño muestral

Se estableció en la propuesta que el tamaño muestral adecuado para este estudio sería un total de 45 artefactos estufas repartidas de la siguiente manera; 30 en la ciudad de Santiago y 15 en la ciudad de Temuco lo cual es similar a lo realizado en otros estudios (Lebel et al., 2022).

Para poder llevar a cabo el muestreo en un plazo razonable se establecieron dos momentos de toma de muestra diaria, uno durante la mañana y otro durante la tarde. El equipo de académicos encargados de la toma de muestras se compone de al menos dos personas las cuales se encargan de instalar el equipamiento y realizar las mediciones.

En primer lugar, el equipo que realiza la muestra de gases hace una evaluación y reconocimiento del espacio a medir. En esta evaluación, se considera cada cocina con su artefacto estufa a analizar, determinando si se encontraba en un espacio abierto, cerrado o mixto. Para cada caso la realización del muestreo es diferente.

- i) Cocina abierta o mixta: En caso de tratarse de un espacio abierto o mixto, el equipo de investigación aisló el área utilizando un método denominado de cámara de flujo estático para asegurar que el gas a medir quedara contenido dentro de un espacio cerrado. El aislamiento del espacio se realiza con láminas de plástico transparente de entre 4 y 6 milésimas de espesor, colocadas en el techo, paredes y piso, junto con un sistema de barreras con postes de tensión de 2 a 3 metros de altura (Lebel et al., 2022).
- ii) Cocina cerrada se encontraba en un espacio cerrado (por ejemplo, con una puerta), no se utilizó este método de aislamiento. Una vez preparado el espacio de medición, se instalaron los equipos en una ubicación alejada de la cocina.

Para las mediciones se usaron los equipos descritos en el apartado e.2 del presente documento. Para la conexión de los equipos de medición se instala un tubo de politetrafluoroetileno (PTFE), generalmente en el centro de la cocina, por donde se extraerán los gases desde el interior de la cocina hacia los analizadores ubicados fuera de ella, utilizando una bomba con un flujo de 4 L min<sup>-1</sup>.

## g. Metodología de análisis de datos

### Estimaciones de volumen de las cocinas:

Para poder estimar la concentración y los factores de emisión es importante saber el volumen de la cocina. Si bien se usó la estimación realizando mediciones con cinta métrica y calculando el volumen de forma manual, en el caso del presente estudio también se usó la metodología de dilución de gases. Este método se basa en la inyección de un gas puro para observar como la concentración sube durante un periodo de entre 30 y 200 segundos. Aumentando esta desde el nivel basal hasta una concentración elevada. Posteriormente se estima la concentración mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{0.5 L}{\Delta C_E} \times 1.000.000$$

Donde  $V$  es el volumen de la cocina,  $\Delta C_E$  es la diferencia entre la concentración más baja y más alta del gas inyectado (ppm) y 1.000.000 es un factor de corrección aplicado al equipo. Así mismo se tomaron medidas de la cocina simplificando a la figura geométrica más simple para de esta manera tener un volumen aproximado de la misma. Este método ha sido usado varias veces y demuestra buenas correlaciones en cuanto a los equipos. En el caso de los muestreos realizados en Santiago se usaron dos gases  $N_2O$  y  $CO_2$  (Lebel et al., 2022).

### Estimación de las emisiones de gases

El primer paso es estimar la corrección por infiltración de gases, es decir saber cuánto gas puede escaparse de la cámara de medición por deficiencia en el sellado (Lebel et al., 2022). Para esto se usó también la concentración de un gas conocido en este caso  $N_2O$  o  $CO_2$  dependiendo de la disponibilidad de éstos durante la toma de muestra. Para esto se usan ecuaciones que estiman como la concentración del gas conocido inyectado va decayendo en función del tiempo. Para esto se usó la siguiente ecuación. Durante la inyección la concentración decayó siguiendo la siguiente ecuación

$$C_{x,t} - C_{x,b} = e^{-\lambda t} x C_{x,0}$$

Donde  $C_{x,t}$  es la concentración del gas  $x$  ( $N_2O$  o  $CO_2$ ) en el tiempo  $t$ ,  $C_{x,b}$  es la concentración basal del gas  $x$  (medida previamente),  $C_{x,0}$  es la concentración del gas  $x$  en el tiempo 0, y la tasa de decrecimiento de la concentración factorizado por  $e$ . En esta ecuación debemos estimar  $\lambda$  por lo que resolviendo con la siguiente ecuación.

$$\ln(C_{x,t} - C_{x,b}) = -t + \ln C_{x,0}$$

Por lo que se cumple que la pendiente de la recta con respecto al tiempo es  $-\lambda$  y  $C_{x,0}$  es la concentración en el tiempo 0.

De esta manera podemos establecer una corrección a las concentraciones siguiendo la siguiente ecuación:

$$C'_{g,t} = C_{g,t} + C_{correction}$$

Donde  $C'_{g,t}$  es la concentración con el factor de corrección en el gas para el tiempo  $t$ ,  $C_{g,t}$  es la concentración sin corregir y el  $C_{correction}$  es el factor de corrección de gas que se calcula siguiendo la siguiente ecuación

$$C_{correction} = \sum_{i=0}^t (C_{g,t} - C_{g,b}) x e^{-\lambda(t_i - t_{i-1})} - (C_{g,t} - C_{g,b})$$

Donde  $C_{g,b}$  es la concentración basal  $t_i$  es el tiempo en el punto  $i$  (toma de medida).

De esta manera podemos obtener la concentración real de cada gas corregida a lo largo de todo el proceso de toma de muestras y podemos estimar de forma correcta la cantidad de gas que se emite durante proceso de encendido o apagado. Con estas concentraciones se puede estimar de forma adecuada la cantidad de gas que se emite durante el proceso de encendido y apagado y podemos estimar las emisiones por ejemplo de Metano de forma. Por lo que podemos estimar las concentraciones de gases emitidos en el proceso de mediciones en el cambio On/Off. Por lo que podemos estimar las emisiones durante el encendido y apagado.

En el caso del estado estacionario usamos las concentraciones corregidas mediante la aproximación de un modelo lineal ajustado a los datos durante cada periodo de medición. Siguiendo esta la fórmula general de una regresión lineal simple de la siguiente manera.

$$y = mx + c$$

Donde sustituyendo por los factores de la regresión obtenemos la siguiente ecuación

$$C'_g = \left(1.000.000 \frac{Q}{V}\right)t + C$$

Donde  $C'_g$  es la concentración corregida en ppm, 1.000.000 es el factor de corrección de ppm.  $Q$  es el factor de emisión en  $L \cdot h^{-1}$ ,  $V$  es el volumen de la cámara (estimado según lo mostrado anteriormente) en  $L$ ,  $t$  es el tiempo en horas de la medición y  $C$  es intercepto de la recta cuando  $t=0$

Por lo que al obtener la pendiente de la recta  $m$  podemos estimar el factor de emisión en  $L$  por hora ( $Q$ ) de la siguiente manera:

$$m = 1.000.000 \frac{Q}{V}$$

Resolviendo para  $Q$ :

$$V \times m = 1.000.000 \times Q$$

$$Q = \frac{V \times m}{1.000.000}$$

Por lo que podemos obtener los factores de emisión en cada uno de los periodos medidos.

En el caso del Benceno se usó la aproximación propuesta en Kashtan et al., 2023 donde se estiman las tasas de emisión promedio teniendo en cuenta los puntos tomados, recordemos que las emisiones de benceno no se toman en continuo debido a la metodología de estimación donde el equipo utilizado permite tomar una muestra cada 12 minutos aproximadamente.

Para esto se usó la siguiente ecuación:

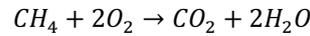
$$f_b = V \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \lambda \left( \frac{C_{b,ti} - C_{b,ti-1} \times e^{-\lambda(t_i - t_{i-1})}}{1 - e^{-\lambda(t_i - t_{i-1})}} - C_{b,b} \right)$$

Donde  $f_b$  es la emisión de benceno a lo largo de las medidas en unidades de volumen por tiempo,  $V$  es el volumen de la cocina o de la cámara sellada por unidad de tiempo,  $\lambda$  es el factor de intercambio entre la cocina y el exterior medido en unidades de tiempo inversas (i.e  $h^{-1}$ ),  $n$  es el número de muestras que se tomaron de benceno,  $C_{b,t}$  es la concentración de benceno en el tiempo  $t$  (en ppb).  $C_{b,b}$  es la concentración de benceno medido a nivel basal.

Si asumimos en la ecuación anterior un valor de  $\lambda=0$  entonces la ecuación sustituyendo nos quedaría de la siguiente manera:

$$V \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left( \frac{C_{b,ti} - C_{b,ti-1} \times e^{-\lambda(t_i - t_{i-1})}}{1 - e^{-\lambda(t_i - t_{i-1})}} - C_{b,b} \right) = V \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left( \frac{C_{b,ti} - C_{b,ti-1}}{t_i - t_{i-1}} \right)$$

Posteriormente se realizará la estimación de las emisiones basándose en la energía consumida basándose en cada quemador, pues se obtienen las emisiones de CO<sub>2</sub> y la entalpía de combustión de metano por lo que siguiendo la siguiente reacción química:



Y teniendo en cuenta las entalpías podemos saber la cantidad de metano consumido y la energía siguiendo la siguiente ecuación para estimar la entalpía de la reacción.

$$\Delta H_C = \Delta H_{f(Products)} - \Delta H_{f(Reactants)}$$

Adaptando la ecuación a la reacción anterior nos da como resultado:

$$\Delta H_C = (\Delta H_{f(CO_2)} + 2\Delta H_{f(H_2O)}) - (\Delta H_{f(CH_4)} + 2\Delta H_{f(O_2)})$$

Por lo que sustituyendo en la ecuación las entalpías de formación del H<sub>2</sub>O (-241.6 kJ mol<sup>-1</sup>, CH<sub>4</sub> (-76.2 kJ mol<sup>-1</sup>), CO<sub>2</sub> (-394.8 kJ mol<sup>-1</sup>) y O<sub>2</sub> (0 kJ mol<sup>-1</sup>) obtenemos que la entalpía final de la combustión es

$$\Delta H_{C,CH_4} = (-394,8 + 2(-241,6) - (-76,2 + 2(0)))$$

Obteniendo un valor de energía de -801,8 kJ mol<sup>-1</sup> lo cual es equivalente a 5011,9 J g<sup>-1</sup> el cual convertiremos en unidades de tiempo al conocer los gramos que se emiten durante el periodo t obteniendo los factores en función de los J de energía emitidos por tiempo.

### Características del gas natural usado en Chile.

Las mediciones directas de tasas de emisión permiten estimar factores de emisión por unidad de masa (e.g., kg de metano emitidos por cada kg de gas natural consumido) o por unidad de energía (e.g., kg de metano por cada TJ de energía). Esto facilita la comparación de las tasas de emisión inferidas con los valores utilizados en inventarios nacionales. Para ello, es esencial conocer las propiedades físicas y químicas del gas utilizado. En el caso de Chile, el gas natural proviene mayoritariamente de fuentes de gas natural licuado (GNL), con propiedades ajustadas a los estándares de combustibles comercializados en el país. Sus características se detallan en la Tabla siguiente.

Tabla 4 Composición del Gas Natural que se comercializa en Chile

COMPONENTES	% COMPOSICIÓN
CH <sub>4</sub> (Metano)	90%-97%
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etano)	1%-6%
CO <sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)	1%-3%
N <sub>2</sub> (Nitrógeno)	≤1%
Otros hidrocarburos	≤1%

El gas natural utilizado en Chile tiene un alto contenido de metano, lo que lo convierte en un combustible eficiente con características específicas de emisión. Este combustible se utiliza ampliamente en el sector residencial, industrial y eléctrico, con factores de emisión adaptados a la realidad nacional.

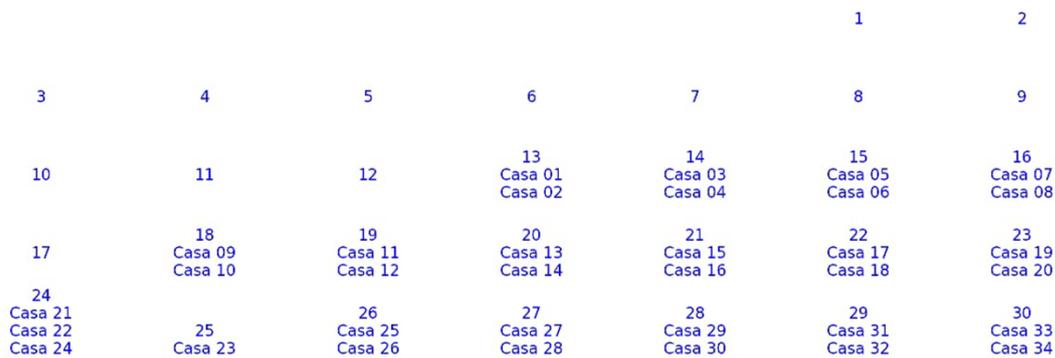
En términos de consumo, Chile utilizó aproximadamente 5.125 mil millones de metros cúbicos de gas natural en 2017, con el terminal de GNL Quintero abasteciendo el 64% de la demanda en la zona central del país en 2019. En el sector residencial, los hogares destinan un promedio del 13% de su gasto en servicios básicos a gas natural por cañería, equivalente a \$23,325 mensuales (IndexMundi, n.d.; GNL Global, 2019; Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, n.d.).



### 3. RESULTADOS SANTIAGO DE CHILE

Se han realizado muestreos en 34 cocinas en Santiago de Chile y 11 en Temuco, datos que han permitido realizar los primeros análisis los cuales están todavía los análisis comparativos y resultados para las casas en las cuales se han analizado los datos de forma preliminar. Las cocinas de Temuco presentaron predominantemente GLP como gas de uso salvo una por lo que no se incluyó finalmente en el estudio por carecer de representatividad. En la siguiente figura se muestra el cronograma de los muestreos realizados en Santiago y Temuco en los meses de Junio y Agosto (Ver Fig). En Santiago se realizó el muestreo de forma conjunta con el equipo extranjero de la Universidad de Stanford y el de Temuco se realizó por parte de la Universidad Mayor de forma independientemente pero con la misma metodología.

#### Santiago Junio 2024



#### Temuco Agosto 2024

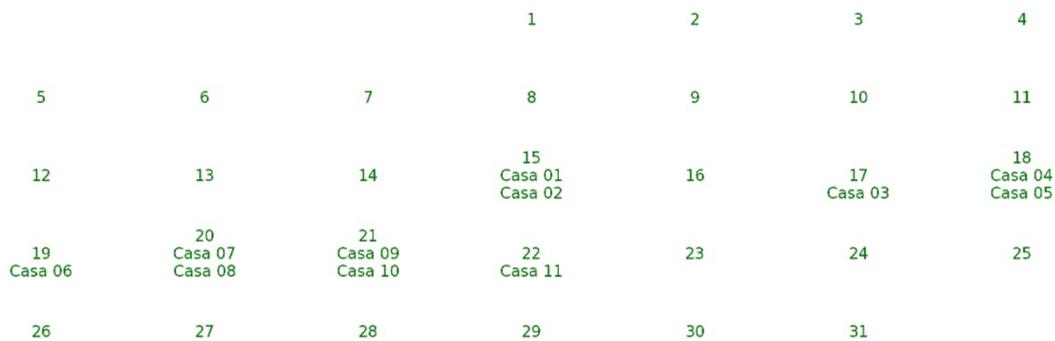


Figura 10 Cronograma de trabajo realizado para la toma de muestras.

## a. Concentración normalizada

Los muestreos han consistido en la toma de datos durante 3.5 horas aprox. sobre el comportamiento de dos quemadores por artefacto estufa. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un ciclo de medición de un quemador en una de las casas donde se tomaron muestras (Santiago Casa 2).

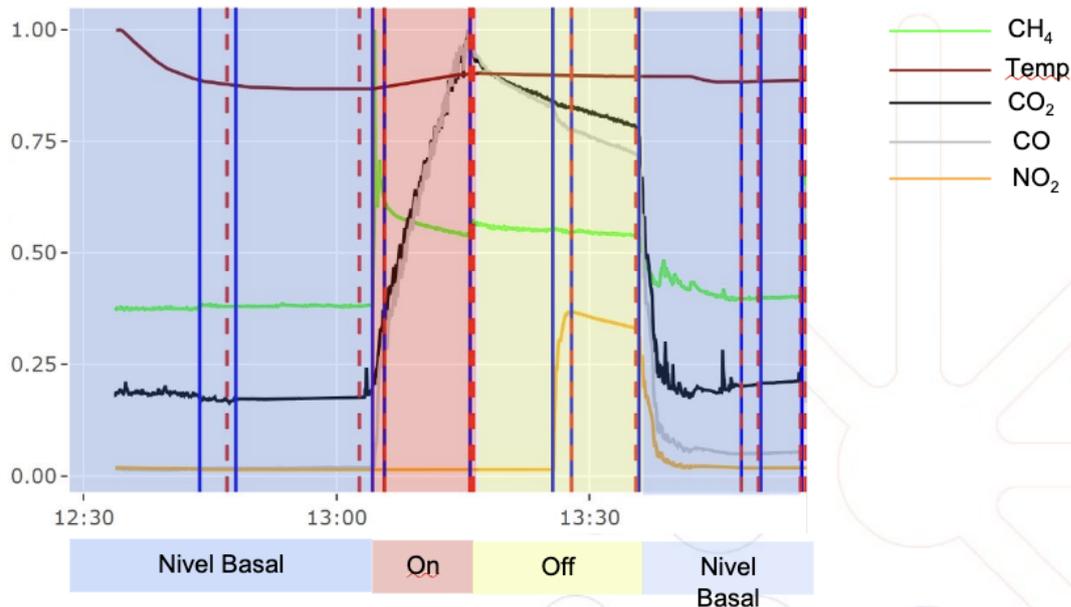


Figura 4 Esquema de una toma de muestra con niveles obtenidos para los diferentes gases medidos, así como la temperatura. En el mismo se encuentran demarcados los diferentes niveles de cada uno de los gases medidos exceptuando benceno

En la figura previa se aprecian los procesos de establecimiento o desempeño de concentraciones obtenidas en tendencia. En el mismo gráfico se aprecia el ciclo de mediciones desde la determinación de niveles basales (niveles de emisiones de gases antes de encender el quemador) hasta la obtención de los niveles en estado On y Off para la determinación de las concentraciones de cada uno de los gases en según qué estado del muestreo de quemador se estaba.

## b. Resultados consolidados factores de emisión los gases medidos

### Metano (CH<sub>4</sub>)

A continuación, se muestran algunos resultados de las emisiones de los gases muestreados a la fecha para las casas. En la **siguiente figura** se muestran los valores medidos para los pulsos On y Off de metano en mg totales, donde se aprecian las diferencias entre las concentraciones cuando el quemador está en estado On y en estado Off. Como se aprecia en la figura pese a estar en posición Off hay equipos que emiten metano de forma importante. No obstante, éstas siempre son menores que cuando los equipos están funcionando, habiendo un rango de entre 1 y 10 órdenes de magnitud de diferencia en algunos casos.

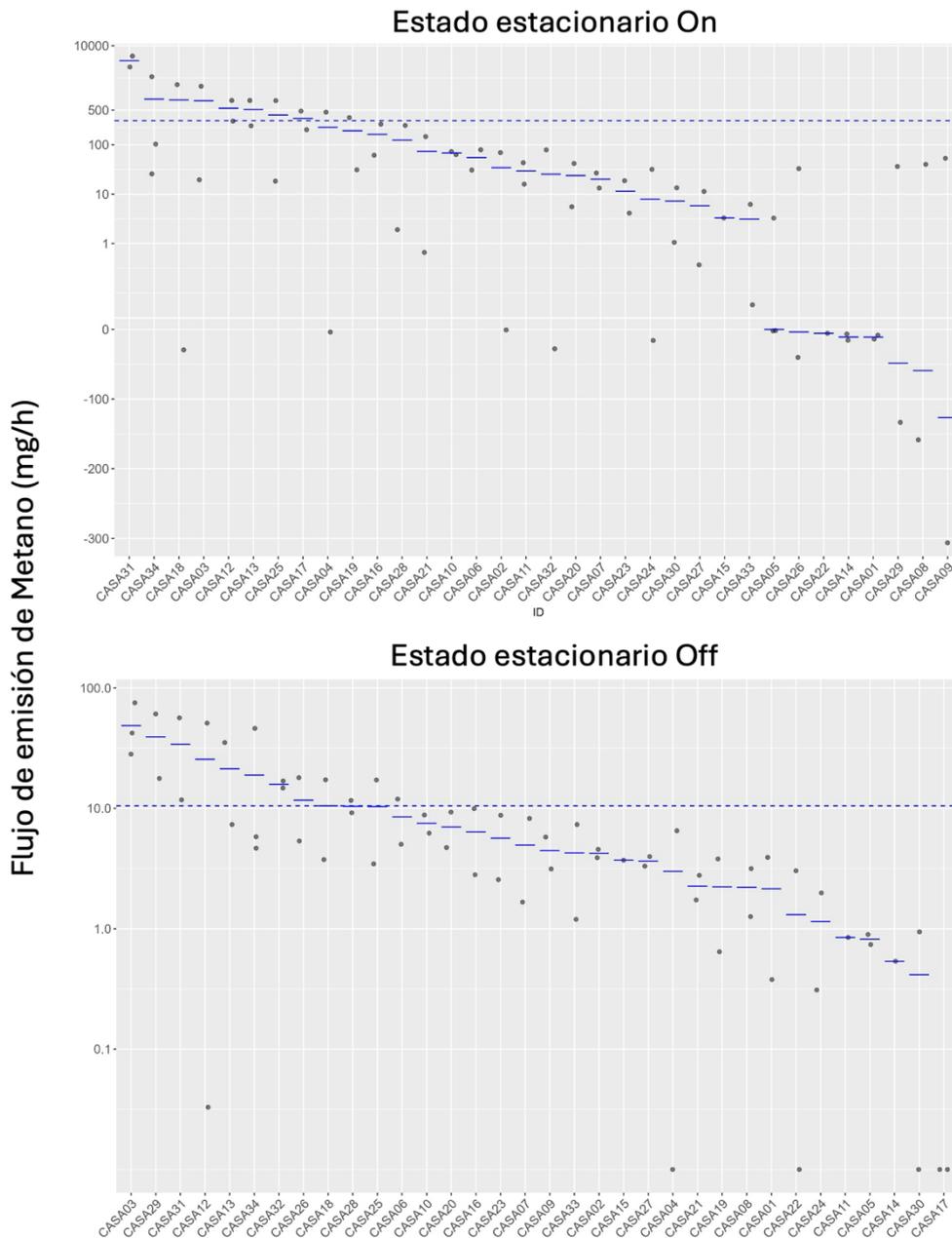
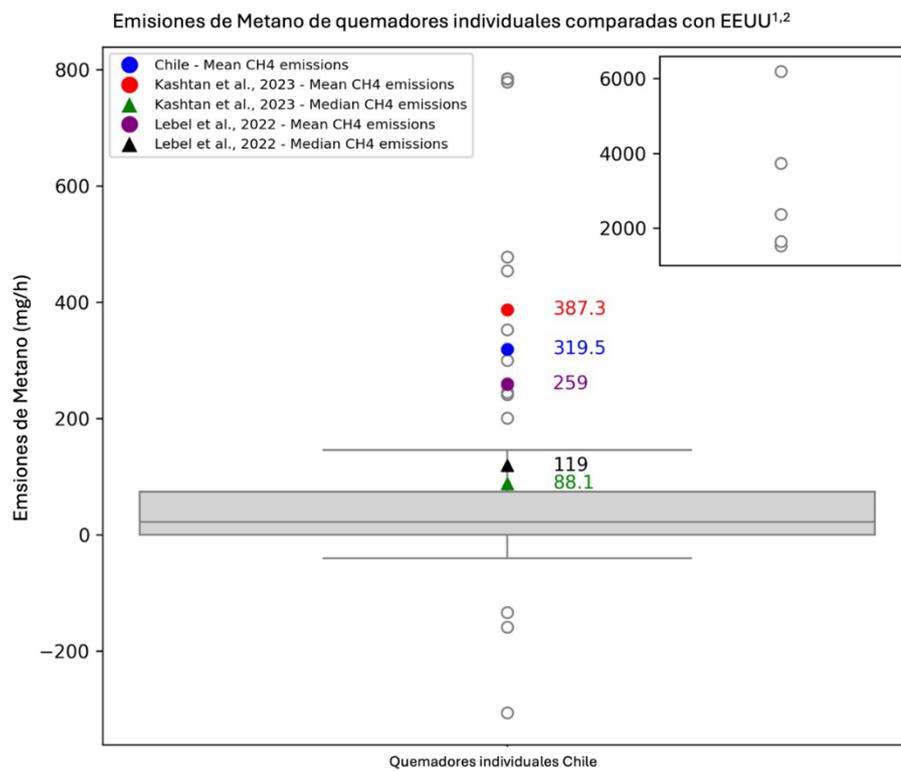


Figura 5 Flujos de emisión de metano por en mg/h en las casas medidas totales en las diferentes casas en las que se ha medido en Santiago de Chile y cuyos datos han sido explorados.

Los resultados obtenidos comparan las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) de quemadores individuales en Chile con las reportadas en estudios recientes en EE.UU.. En cuanto a Chile las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) presentan un promedio de **319.5 mg/hora**, con una dispersión significativa entre los quemadores individuales. Algunos quemadores alcanzan valores extremos de hasta **6000 mg/hora**, lo que indica una alta variabilidad en las emisiones entre las casas examinadas. Al compararlo con la bibliografía los valores medios de emisiones de metano en Chile son de **319.5 mg/hora** (punto azul), mientras que los estudios en EE.UU., como el de **Kashtan et al. (2023)**, muestran emisiones medias más altas, con **387.3 mg/hora** (punto rojo). Sin embargo, el estudio de **Lebel et al. (2022)** reporta un

promedio más bajo de **259 mg/hora** (punto púrpura), con medianas de emisiones que también son más bajas que las chilenas. Es importante destacar que, aunque el valor promedio de Chile está por debajo del valor de Kashtan et al., 2023, la dispersión de los datos en Chile es significativa,

Es importante comentar que tras examinar los resultados vemos que cuando los quemadores se encuentran en estado Off se producen emisiones fugitivas que pueden aumentar las concentraciones a nivel intradomiciliario de forma importante. Teniendo en cuenta patrones de uso diario de cocinas podemos estimar que basándonos en el promedio de emisión de metano en estado On durante un día asumiendo un uso de 2 horas y un flujo de emisión de 319.5 mg/h se estarían emitiendo en promedio 0.64 g/día de metano por día como consecuencia del uso. A eso habría que sumar la emisión diaria fugitiva que es en torno a 10.9 mg/h en promedio por lo que podemos estimar que las emisiones fugitivas diarias estarían en torno a 0.24 g/día. Lo que nos daría unas emisiones totales de aproximadamente 0.9 g/día por cocina en uso en Santiago como consecuencia del uso diario lo que nos permita estimar las emisiones anuales por cocina individualizada.



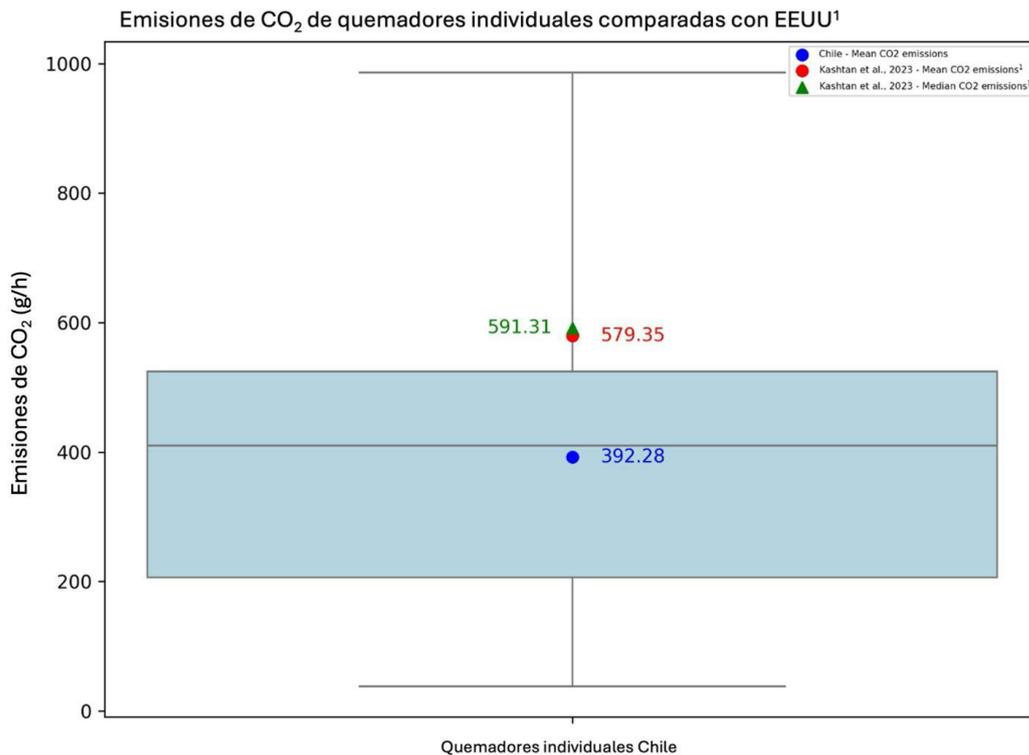
1. Kashtan et al., 2023. "Gas and Propane Combustion from Stoves Emits Benzene and Increases Indoor Air Pollution". Environmental Science & Technology, Volume 57, Issue 26.  
2. Lebel et al., 2022. "Methane and NOx Emissions from Natural Gas Stoves, Cooktops, and Ovens in Residential Homes". Environmental Science & Technology, Volume 56, Issue 4.

Figura 5 Comparación de los factores de emisión de Metano obtenidas en las casas de Santiago de Chile.

### Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

En cuanto al CO<sub>2</sub> reportado en el presente estudio las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de quemadores individuales en Chile (Gráfico 5), promedian **392.28 g/hr** (punto azul). Los datos de Chile presentan una gran variabilidad, con algunos quemadores individuales, mostrando emisiones que alcanzan hasta los **1000 g/hr**. Esta dispersión en las emisiones sugiere que hay diferencias significativas entre los quemadores en términos de eficiencia de combustión, lo que resalta una mayor variabilidad entre los diferentes equipos utilizados. Cuando se comparan las emisiones promedio de

CO<sub>2</sub> en Chile (**392.28 g/hr**) 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 CO<sub>2</sub>. En el caso de esta variabilidad se explica por las emisiones de la casa 31 y la casa 34 (5.4%). 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.



1. Kashtan et al., 2023. "Gas and Propane Combustion from Stoves Emits Benzene and Increases Indoor Air Pollution". Environmental Science & Technology, Volume 57, Issue 26.

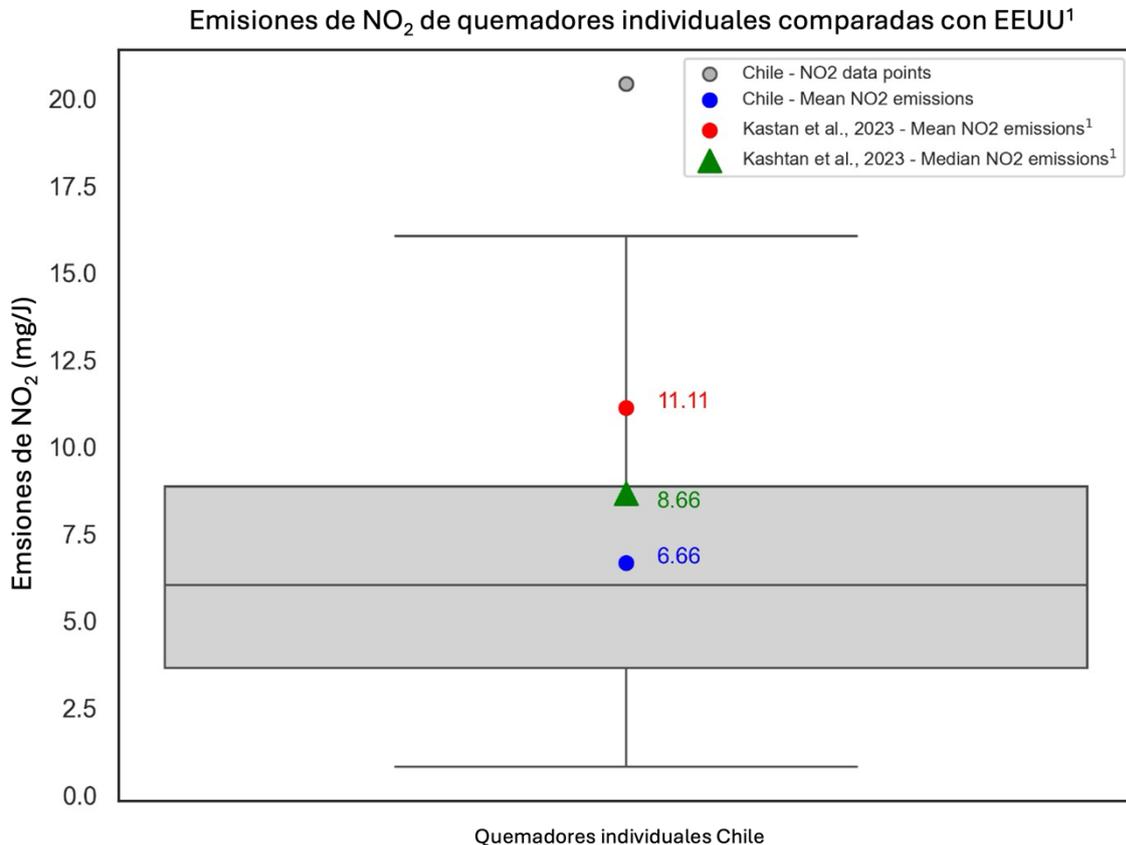
Figura 6 Comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del presente estudio en comparación con la bibliografía

### Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

En el caso del NO<sub>2</sub> las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en Chile (Figura 7), se muestra un promedio de 6.66 mg/J (punto azul). Al igual que en otros contaminantes, las emisiones de NO<sub>2</sub> en Chile presentan cierta variabilidad entre los diferentes quemadores. Los datos individuales (círculos grises) sugieren que la mayoría de los quemadores se encuentran por debajo de los 10 mg/J, con algunas excepciones que superan ese valor.

Cuando se comparan las emisiones de NO<sub>2</sub> en Chile con los datos de Kashtan et al. (2023), se observa que las emisiones promedio de NO<sub>2</sub> en EE.UU. son más altas. Kashtan reporta un promedio de 11.11 mg/J (punto rojo) y una mediana de 8.66 mg/J (triángulo verde). Estos valores son superiores a los observados en Chile, donde el promedio es de 6.66 mg/j. Esto indica que, en general, los quemadores en Chile tienden a emitir menos NO<sub>2</sub> que los reportados en EE.UU. por Kashtan y colaboradores en 2023. Sin embargo, es importante señalar que algunos quemadores en Chile superan los valores de mediana y se acercan a los niveles medios reportados en EE.UU. Esto sugiere

que, aunque las emisiones promedio en Chile son más bajas, sigue habiendo casos aislados de equipos con emisiones elevadas



1. Kashtan et al., 2023. "Gas and Propane Combustion from Stoves Emits Benzene and Increases Indoor Air Pollution". Environmental Science & Technology, Volume 57, Issue 26.

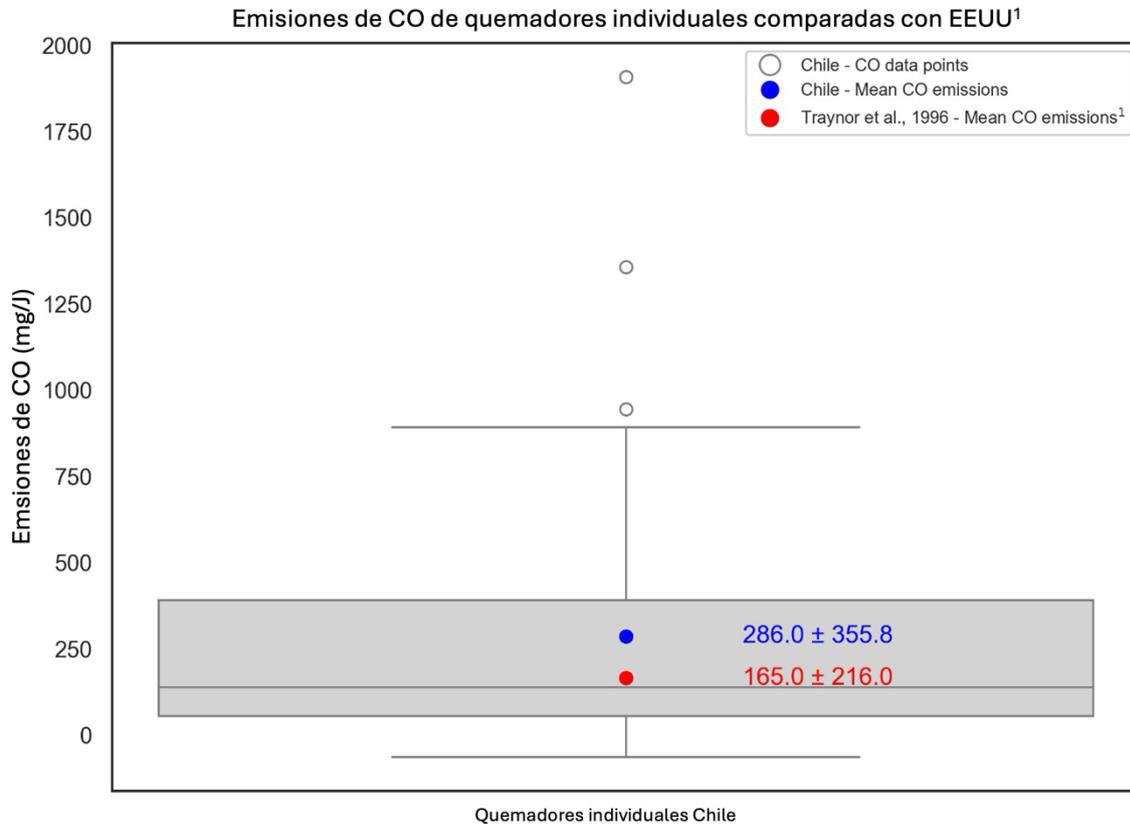
*Figura 7 Comparación de los factores de emisión de NO<sub>2</sub> obtenidos en Santiago de Chile en comparación con valores reportados en la bibliografía*

### Monóxido de Carbono (CO)

En cuanto a las emisiones de CO las emisiones de monóxido de carbono (CO) en quemadores individuales en Chile (Figura 8) muestra un promedio de 286.0 mg/J (punto azul). Similar a otros contaminantes, los datos en Chile presentan una amplia dispersión, con algunos quemadores alcanzando valores superiores a 1000 mg/J. Esta variabilidad sugiere diferencias significativas en la eficiencia de combustión de los quemadores utilizados en los hogares chilenos. El valor promedio indica que, aunque muchos quemadores se encuentran en un rango moderado de emisiones, 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. Al comparar los resultados con otros estudios realizados en las mismas condiciones

En comparación con los datos de Traynor et al. (1996) sobre emisiones de CO en EE.UU., el promedio de emisiones en Chile (286.0 mg/J) es significativamente más alto que el promedio reportado en EE.UU., que fue de 165.0 mg/J (punto rojo). Esto indica 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, lo que sugiere una mayor variabilidad en la eficiencia de los equipos de combustión en Chile.



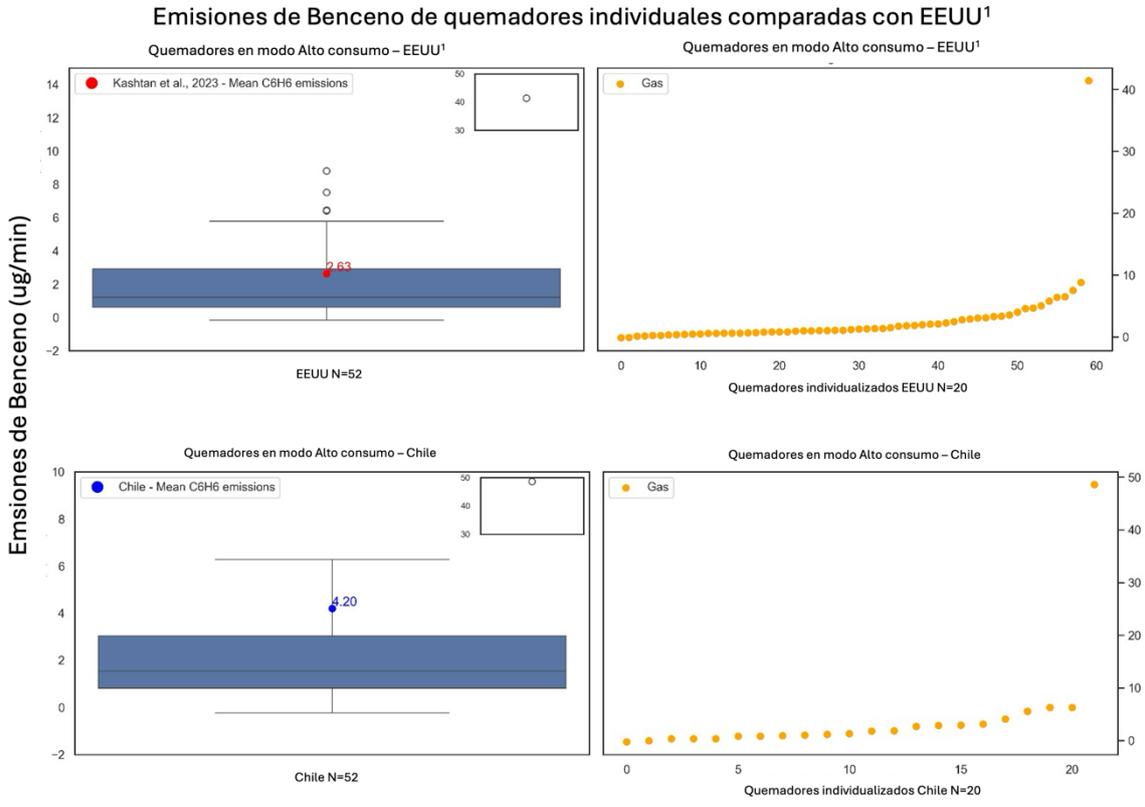
1. Traynor et al., 1996. "Pollutant Emission Factors from Residential Natural Gas Appliances: A Literature Review". Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 13.

*Figura 8 Comparación de las emisiones de CO del presente estudio en comparación con lo reportado en la bibliografía.*

### **Benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

En el caso del Benceno las emisiones de benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) en quemadores individuales en Chile (Figura 9) muestra un promedio de **4.20 µg/min** (punto azul). Las emisiones de benceno en Chile también presentan una considerable dispersión, con algunos quemadores emitiendo cantidades significativamente más altas, lo que refleja diferencias en la calidad de los equipos o el mantenimiento de los mismos. En este sentido estas medidas son pioneras pues sólo se ha valorado recientemente estas emisiones de contaminantes. Al compararlo con el estudio más reciente en la materia vemos.

Cuando se comparan las emisiones de benceno en Chile con los datos reportados en EE.UU, lo principal es tener en cuenta la diferencia en el número de muestras lo que es importante a la hora de tener en cuenta (Chile con un N=20 y EEUU con un N=52). No obstante, en **Kashtan et al. (2023)**, se reporta que las emisiones promedio en Chile (**4.20 µg/min**) son más altas que las reportadas en EE.UU., donde el promedio fue de **2.63 µg/min** (punto rojo). Esto sugiere que los quemadores en Chile, en promedio, emiten cantidades mayores de benceno que los quemadores evaluados en el estudio de Kashtan. Además, en ambos países se observa una dispersión considerable en los datos, lo que indica que la eficiencia y el rendimiento de los quemadores son altamente variables.



<sup>1</sup> Kashtan et al., 2023. "Gas and Propane Combustion from Stoves Emits Benzene and Increases Indoor Air Pollution". Environmental Science & Technology, Volume 57, Issue 28.

Figura 9 Comparación de las emisiones de Benceno del presente estudio en comparación con lo reportado en la bibliografía.

Las conclusiones sobre la variabilidad en las emisiones de contaminantes en Chile, según los análisis realizados de los gráficos, sugieren que las principales causas de esta variabilidad 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 NO<sub>2</sub>.

### c. Factores de emisión estimados para Chile

A partir de nuestras mediciones directas, hemos podido derivar factores de emisión que pueden ser utilizados en la elaboración de inventarios de emisiones. Estos factores se expresan comúnmente en términos de energía consumida (kg del compuesto emitido por terajulio, TJ, de energía consumida) o en función del volumen de gas natural utilizado (kg del compuesto emitido por millón de pies cúbicos, MPC, de gas natural consumido). En la tabla siguiente presentamos los resultados de las mediciones directas realizadas en este proyecto, expresados como factores de emisión. Estos factores son aplicables en la elaboración de futuros inventarios de emisiones a nivel ya que los datos de actividad están disponibles en términos de consumo energético ya sea en total o en volumen consumido.

Tabla 5 Tasas de emisión promedio (en g/h o mg/h) medidas durante la campaña en Chile para el proceso de combustión por cada quemador se presentan en la tabla. Estas tasas incluyen el factor de emisión inferido a partir de las mediciones directas. En el caso del metano (CH<sub>4</sub>), se decidió excluir del cálculo dos puntos extremos, ya que se consideraron estadísticamente anómalos y con una influencia excesiva en el cálculo del valor promedio.

GAS	Tasa de Emisión	Factor de emisión
CH <sub>4</sub>	405.96 (mg/h)	199.12 (kgCH <sub>4</sub> /TJ)
CO <sub>2</sub>	386.20 (g/h)	84.91 (tCO <sub>2</sub> /TJ)
CO	1793.44 (mg/h)	313.02 (gCO/GJ)
NO <sub>x</sub>	93.54 (mg/h)	14,72 (gNO <sub>x</sub> /GJ)
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	0.28 (mg/h)	8,88(ugC <sub>6</sub> H <sub>6</sub> /TJ)

Según los lineamientos del IPCC para el cálculo de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, se recomienda un factor de emisión estándar de 5.0 kg de CH<sub>4</sub> por terajulio (TJ) para la combustión de gas natural en el sector residencial (categoría de emisiones 1A4b - Residencial). Por otro lado, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) utiliza un factor de emisión significativamente menor para el mismo proceso, equivalente a 0.95 kg de CH<sub>4</sub> por TJ.

En el caso de Chile, el factor de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para la combustión de gas natural es de 56,1 kg CO<sub>2</sub> por gigajulio (GJ) de poder calorífico inferior (PCI). Este valor se basa en los factores de emisión por defecto proporcionados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en sus directrices de 2006. Es importante destacar que este factor de emisión puede variar según la composición específica del gas natural y las condiciones de combustión. Por lo tanto, para obtener estimaciones más precisas, se recomienda utilizar datos locales o específicos del proveedor de gas natural en Chile. al convertir el factor de emisión de CO<sub>2</sub> del gas natural a unidades de terajulios, el resultado es 56.1 tCO<sub>2</sub>/TJ.

En el presente proyecto obtenemos factores de emisión de metano en torno 199.12 (kgCH<sub>4</sub>/TJ). Al comparar los valores obtenidos para los factores de emisión de Chile en comparación con los que usan actualmente para los factores. Encontramos que este valor es en torno a 39,8 veces mayor en promedio que lo usado para construir el inventario nacional de emisiones (5 kgCH<sub>4</sub>/TJ). Si vamos un poco más allá usando los valores de factor emisión estimados en la Tabla 5. Podemos estimar de forma clara las emisiones de gases de efecto invernadero de cada uno de los gases emitidos son la resultante de la siguiente ecuación

$$FE_{GN} = FE_{CO_2} + GWP_{CH_4} FE_{CH_4}$$

Donde los FE son los factores de emisión del CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> respectivamente y el GWP es el potencial de efecto invernadero del metano en este caso. Al aplicar la ecuación obtenemos un valor de emisiones para 90.46 tCO<sub>2</sub>-eq/TJ, de este valor. El metano (CH<sub>4</sub>) representa aproximadamente el 6.14% del total de emisiones en términos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Esto es interesante pues podemos estudiar cuan eficiente es eliminar esas emisiones de CO<sub>2</sub> mediante un proceso de electrificación de los sistemas de cocción en Chile. Examinando los factores de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) para la generación eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de Chile (kg CO<sub>2</sub>-eq/MWh. En 2024, el factor de emisión fue de 0.2215 kg CO<sub>2</sub>-eq/MWh (Fuente: Ministerio de Energía), que equivale a 61.53 tCO<sub>2</sub>-eq/T en emisión eléctrica de CO<sub>2</sub>

por MW. De acuerdo a la eficiencia reportada en países similares (e.g. Argentina) sabemos que de eficiencia de cocinas a gas está en torno a 42.7% y las cocinas vitrocerámicas un 72.5%, de resistencia un 73.6% y las de inducción 79.7% (Sensini et al., 2018).

Al comparar distintos tipos de cocinas, la eficiencia energética es un factor clave para evaluar su consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Las cocinas de inducción son las más eficientes, con un rendimiento del 79.7%, seguidas por las de resistencia eléctrica (73.6%) y las vitrocerámicas (72.5%). Por otro lado, las cocinas a gas tienen una eficiencia significativamente menor, del 42.1%. Para realizar una misma tarea que requiere 1 MJ de energía útil, una cocina a gas necesita 2.38 MJ de energía total debido a su baja eficiencia, mientras que las vitrocerámicas requieren 1.38 MJ, las de resistencia eléctrica 1.36 MJ, y las de inducción solo 1.25 MJ.

Si atendemos con estos valores a las emisiones encontramos que al comparar distintos tipos de cocinas en términos de eficiencia energética y emisiones de gases de efecto invernadero, se observa una clara ventaja de las cocinas eléctricas, especialmente las de inducción, frente a las cocinas a gas. La eficiencia energética, que mide cuánto de la energía total consumida se aprovecha para cocinar, es significativamente mayor en las cocinas de inducción (79.7%), seguida por las de resistencia eléctrica (73.6%) y las vitrocerámicas (72.5%). En contraste, las cocinas a gas tienen una eficiencia mucho más baja, del 42.1%.

Esta diferencia en la eficiencia afecta directamente las emisiones de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ). En Chile, el gas natural tiene un factor de emisión de 90.46 toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente por terajulio ( $\text{tCO}_2\text{-eq/TJ}$ ), mientras que el sistema eléctrico tiene un factor de emisión de 116.11  $\text{tCO}_2\text{-eq/TJ}$ . Aunque la electricidad tiene un mayor factor de emisión por unidad de energía, las cocinas eléctricas compensan esto gracias a su menor consumo de energía.

Para cocinar una misma cantidad de alimentos (equivalente a 1 MJ de energía útil), las cocinas a gas generan 0.215 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , mientras que las cocinas eléctricas generan menos emisiones: 0.160 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  en el caso de vitrocerámicas, 0.158 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  para cocinas de resistencia, y 0.145 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  para cocinas de inducción. Cambiar de una cocina a gas a una eléctrica puede generar una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero, dependiendo del tipo de cocina eléctrica que se utilice. Actualmente, las cocinas a gas en Chile generan 0.215 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  por cada unidad de energía útil utilizada para cocinar, mientras que las cocinas eléctricas generan menos emisiones debido a su mayor eficiencia energética.

Por ejemplo, una cocina vitrocerámica genera 0.160 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , lo que equivale a una reducción del 25.6% en comparación con una cocina a gas. Las cocinas de resistencia eléctrica tienen un desempeño similar, generando 0.158 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , lo que representa una reducción del 26.5% en emisiones. Sin embargo, las cocinas de inducción son las más eficientes y sostenibles, generando solo 0.145 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , lo que implica un 32.6% menos emisiones que las cocinas a gas.

En resumen, si bien las cocinas a gas han sido una opción común, las cocinas de inducción destacan como la mejor alternativa para una vivienda unifamiliar en Chile, tanto por su eficiencia como por su menor impacto ambiental. A medida que la matriz eléctrica chilena continúe descarbonizándose, esta ventaja será aún mayor, haciendo de las cocinas de inducción una inversión sostenible y responsable.

## d. CONTRIBUCIÓN A LAS EMISIONES NACIONALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL USO DE COCINAS.

Mediante los resultados obtenidos podemos estimar la contribución del uso de las cocinas a las emisiones de gases de efecto invernadero reportadas por Chile durante aproximadamente un año para los diferentes gases estudiados. Según el último inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile. Se reporta que las emisiones del sector residencial son las reportadas bajo el código 1.A.4.b. En el que se reporta que las emisiones en Kt de CO<sub>2</sub> anual son 4182.258, las de CH<sub>4</sub> son 21.784 y las de CO son 288.890. Por lo que podemos estimar cuanto representa la cocina. Y estimar el aporte real.

Actualmente según los datos reportados por ministerio de desarrollo social y familia (MDSF, 2022) en la encuesta CASEN 2022 se reporta que aproximadamente hay 995313 hogares que reportan usar gas natural para cocinar alimentos. Esto nos permite estimar el total de emisiones de este sector para los gases reportados. Para el caso del CO<sub>2</sub> usando los promedios reportados en el presente estudio vemos que en promedio se emiten 392 g/h y asumimos que durante el proceso de cocinar alimentos en todo el día el uso por hogar es de unas 2 horas (incluyendo desayuno, almuerzo y comida), bajo esta premisa estimamos que cada casa emite por día unos 784 g/h de CO<sub>2</sub>. Este proceso se produce durante todo el año por lo que cada casa emite 286364 g/año. Al multiplicarlo por el total de casas que reportan el uso de cocina a gas obtenemos que en total se emiten 285.000 toneladas al año como consecuencia de cocinar alimentos usando gas natural o lo que es lo mismo 285 Kton de CO<sub>2</sub> al año. Al comparar esto con el inventario de emisiones más reciente (2022), vemos que las emisiones de CO<sub>2</sub> **por este concepto serían en torno al 7% de las emisiones residenciales totales sólo por el uso de cocina a gas.**

En el caso del metano realizando el mismo ejercicio vemos que en base a los resultados obtenidos donde cada casa emite 319.5 mg/h de CH<sub>4</sub> obtenemos con los mismos supuestos que usamos para el CO<sub>2</sub> que una casa emite en torno a 639 mg/día. Si esto lo llevamos a un año de uso las emisiones por casa son de 233235 mg /año lo que llevado al total de la población que usa gas natural para cocinar nos da que las emisiones de gas natural son en torno a 232 toneladas de CH<sub>4</sub> al año o lo que es lo mismo 0.232 kt de CH<sub>4</sub> al año. **Lo que supone en torno al 1.1% de las emisiones reportadas para el sector residencial.** No obstante, tenemos que tener en cuenta que hay emisiones fugitivas durante el tiempo restante y estas son continuas independiente de la hora del día. Estas en promedio son en torno a 12 mg / h (ver gráfico 3) por lo que siguiendo el mismo razonamiento, pero asumiendo emisiones durante no uso de unas 22 horas. Obtenemos que las emisiones diarias por casa son en torno a 275 mg al día por casa. Lo que supone unas emisiones de 100375 mg/casa al año que al extenderlo al total de casas que usan gas natural nos da en torno a 100 ton de CH<sub>4</sub> al año o lo que es lo mismo 0.1 Kt al año. Esto supone al compararlo con el inventario de emisiones para el sector residencial de aproximadamente un 0.46 % de las emisiones reportadas para el sector residencial. Si sumamos los dos factores teniendo en cuenta emisiones fugitivas y no fugitivas obtenemos que el total de emisiones residenciales de CH<sub>4</sub> ligadas a los equipos de cocina son en torno a 1.56% de las reportadas.

En el caso del CO tenemos los resultados de 282.7 mg/J lo primero es realizar la transformación a mg h, que serían en torno a 3053 mg / h. Realizando el cálculo con los mismos supuestos vemos que cada casa emite uno 6106 mg de CO al día, lo que llevándola a todo el universo de usuarios supone 2218 toneladas al año o lo que es lo mismo 2.218 Kton al año a nivel nacional. Al compararlo con el total de emisiones reportadas para el sector residencial que es de 288.90 Kton podemos estimar que es en torno a un 0.77% de las emisiones de CO reportadas para el sector residencial.

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 que el uso de cocinas a gas natural representa aproximadamente el 0.07% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> del sector residencial, contribuyendo con 285 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>. En cuanto al metano (CH<sub>4</sub>), 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 CH<sub>4</sub> a un 1.56% del total reportado para el sector residencial. En el caso del monóxido de carbono (CO), se calcula que las cocinas a gas emiten 2.218 Kt al año, lo que representa aproximadamente el 0.77% de las emisiones totales de CO del sector residencial. 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.

Como precaución hay que tener en cuenta que estas estimaciones han sido realizadas basándose en un N de 34 casas en la ciudad de Santiago, los resultados serían más precisos si aumentamos el número de casas siendo más representativos. Así como midiendo en varias ciudades para poder tener mayor certeza de los factores de emisión obtenidos en terreno.



## e. IMPLICACIONES PARA SALUD

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 ( $\text{CH}_4$ ), a concentraciones elevadas en espacios cerrados, puede desplazar el oxígeno, provocando asfixia, problemas de visión, náuseas y vómitos. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), 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 ( $\text{NO}_2$ ) 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 ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) puede provocar mareos, dolores de cabeza, somnolencia, confusión y, en casos extremos, pérdida de conciencia. Con respecto a esto no hay normas nacionales en Chile que regulen la contaminación intradomiciliaria. Por lo que se recurrió a normativas internacionales. Canadá tiene normas para  $\text{CO}_2$  (Health Canada, 2021), Benceno (Health Canada, 2019) y  $\text{NO}_2$  (Health Canada 2021) y EEUU tiene normas para trabajadores o exposición ocupacional para el caso de  $\text{CO}_2$  Y Benceno  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_6\text{H}_6$  ([www.dir.ca.gov](http://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*).

En la siguiente tabla se muestran los niveles de 4 de los contaminantes medidos en partes por ppm en las viviendas en las que no se usó la metodología de cámara plástica. 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  $\text{CO}_2$  y Benceno Para  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_6\text{H}_6$  exceden los niveles recomendados:  $\text{CO}_2$  1.412 versus 1.000 y 0,5 versus 0,2 para  $\text{C}_6\text{H}_6$ . En el caso de  $\text{NO}_2$ , Canadá cuenta con una norma residencial de 1 hora (90 ppm) y 24 horas (11 ppb) (Health Canada, 2021). Las viviendas en las cuales se midió  $\text{NO}_2$ , la mediana superó la norma de 1 hora: 125 versus 90 ppm. Entonces, si es 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 (Tabla 5). 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.

*Tabla 6 Descripción de niveles (partes por millón, ppm) de contaminantes en 28 viviendas chilenas y las recomendaciones internacionales para cada una*

Contaminante	Mediciones de viviendas chilenas				Norma
	N de quemadores	Mínimo	Máximo	Mediana	
CH <sub>4</sub>	41	1,9	89	2,9	*
CO <sub>2</sub>	33	446	6.873	1.412	1.000 <sup>a</sup> PEL: 5.000 <sup>b</sup> STEL: 30.000 <sup>c</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Benceno)	13	0,07	2,68	0,51	0,2 <sup>d</sup> PEL: 1 <sup>e</sup> STEL: 5 <sup>f</sup>
NO <sub>2</sub>	24	33	703	125	24 horas: 11 <sup>g</sup> 1 hora: 90 <sup>h</sup>

PEL= *Permissible exposure limit* / Límite de Exposición Permitido

STEL= *Short term exposure limit* / Límite de Exposición a Corto Plazo

\* El metano se considera generalmente no tóxico a niveles típicos de exposición, por lo que no se establecen límites específicos de PEL o STEL basados en efectos tóxicos directos.

<sup>a</sup> Norma canadiense: 1.000 ppm durante un periodo de 24 horas.

<sup>b</sup> OSHA (*Occupational Safety and Health Administration* / Administración de Seguridad y Salud Ocupacional): 5.000 ppm (partes por millón) para una jornada laboral de 8 horas.

<sup>c</sup> ACGIH (*American Conference of Governmental and Industrial Hygienists* / Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales): recomienda 30.000 ppm, lo que significa que los trabajadores no deben estar expuestos a este nivel durante más de 15 minutos sin medidas de protección.

<sup>d</sup> Norma canadiense: 0,2 ppm durante por lo menos un periodo de 24 horas.

<sup>e</sup> OSHA: 1 ppm promedio ponderado en 8 horas.

<sup>f</sup> OSHA: 5 ppm durante un período de 15 minutos.

<sup>g</sup> Norma canadiense: 11 ppm durante un período de 24 horas.

<sup>h</sup> Norma canadiense: 90 ppm durante una hora.

## 4. CONCLUSIONES DEL PRESENTE ESTUDIO

Los resultados obtenidos en este estudio destacan la variabilidad significativa en las emisiones de contaminantes provenientes de quemadores de gas en hogares de Santiago de Chile. Las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) muestran dispersión entre los diferentes aparatos evaluados, lo que sugiere diferencias en la eficiencia de combustión, el estado de los equipos y los patrones de uso. La alta variabilidad de las emisiones, especialmente en casos como el metano y el  $\text{CO}$ , indica que algunos quemadores emiten cantidades elevadas de contaminantes, lo que plantea riesgos para la salud y el ambiente, especialmente en espacios cerrados con poca ventilación.

Un hallazgo importante es la presencia de emisiones fugitivas, incluso cuando los quemadores se encuentran en estado apagado (Off). Este fenómeno resalta la necesidad de monitorear continuamente las emisiones, ya que las concentraciones de contaminantes pueden acumularse en el aire interior de los hogares, afectando la salud de los ocupantes. Las emisiones fugitivas de metano, por ejemplo, contribuyen significativamente a las emisiones totales, elevando el impacto ambiental de estas fuentes domésticas. Se estima que en promedio, una cocina emite cerca de 0.9 g de metano por día, sumando tanto las emisiones operativas como las fugitivas.

Finalmente, las comparaciones con estudios internacionales sugieren que, aunque algunas emisiones promedio en Chile son menores que las reportadas en EE.UU., como en el caso del  $\text{CO}_2$  y el  $\text{NO}_2$ , persisten casos de emisiones elevadas que deben ser abordados. En especial, el caso del benceno, cuyas emisiones en Chile superan los niveles recomendados por normativas internacionales, subraya la necesidad urgente de implementar regulaciones para la contaminación intradomiciliaria en Chile, con énfasis en mejorar la eficiencia de los quemadores, garantizar el mantenimiento adecuado de los aparatos y fomentar una mayor ventilación en los hogares.

Si bien las cocinas a gas representan un porcentaje bajo con respecto al inventario de emisiones más reciente para Chile (2022). En el caso del metano vemos que puede suponer en torno al 1.56% de las emisiones de  $\text{CH}_4$  como consecuencia de cocinar alimentos.

En este proyecto hemos 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  $\text{tCO}_2\text{-eq/TJ}$ , 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.

Al analizar las tecnologías de cocción, se observa que las cocinas a gas, con una eficiencia del 42.1%, generan 0.215 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  por unidad de energía útil, mientras que las cocinas de inducción, con una eficiencia del 79.7%, producen solo 0.145 kg de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , logrando una reducción del 32.6%. Esto evidencia que avanzar hacia la electrificación de los sistemas de cocción, especialmente con tecnologías eficientes como las cocinas de inducción, puede ser clave para disminuir las emisiones en los hogares chilenos y contribuir al cumplimiento de los objetivos climáticos del país.

La contaminación intradomiciliaria causada por cocinas a gas natural en los hogares de Chile representa un riesgo significativo para la salud, ya que las emisiones de contaminantes como metano,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  y benceno pueden superar los límites recomendados por normativas internacionales. Estos contaminantes, especialmente el  $\text{CO}$  y el benceno, pueden causar efectos graves como mareos, fatiga, irritación respiratoria y, en casos extremos, riesgos mortales. Dado que en Chile no existen normativas nacionales específicas para la calidad del aire interior, es crucial mejorar la ventilación en los hogares y adoptar medidas preventivas para reducir la exposición a estos contaminantes.

## 5. DESAFÍOS

En las muestras de Temuco se consiguió una muestra de GNL y no se encontró nada nuevo al compararlo con los datos de Santiago en cuanto a emisiones, esto es debido a que la penetración de Gas Natural en Temuco es menor al 6%. En este sentido y teniendo en cuenta la penetración del uso de gas natural en el país, es recomendable en futuros estudios centrarse en las regiones Metropolitana y de Valparaíso. Algunas posibles explicaciones incluyen el estado de mantenimiento de los quemadores en las cocinas, las condiciones de las conducciones de gas dentro de las viviendas y las variaciones en la composición del gas natural utilizado. No obstante, con los datos actuales, no es posible establecer conclusiones definitivas, lo que hace necesario un análisis más detallado.

El estudio ha enfrentado diversos desafíos que han dificultado su desarrollo. Uno de los principales problemas es que ha sido percibido como invasivo para los hogares, lo que ha complicado la recolección de muestras. Para futuros estudios, se están considerando alternativas como realizar mediciones en casas y departamentos de alquiler, incluidos alojamientos de plataformas como Airbnb. Sin embargo, este enfoque aún no ha podido implementarse debido a restricciones administrativas impuestas por la universidad.

Además, encontrar voluntarios, especialmente en Temuco, ha sido un reto por lo que se optó por reducir a 11 las casas en Temuco y ampliar a 34 las casas en Santiago para cumplir con el número de muestras. En cuanto a los incentivos ofrecidos a los propietarios, la Universidad no ha permitido gestionar pagos directos, ofreciendo en su lugar tarjetas de regalo. En algunos casos, los propietarios han rechazado esta forma de compensación y solo han permitido el acceso a sus viviendas si el pago se realizaba en efectivo, lo que plantea otro desafío administrativo para el futuro.

Otro obstáculo importante ha sido la importación de equipos desde la Universidad de Stanford, lo que impidió realizar algunas mediciones clave, como las de Benceno y NO<sub>2</sub>, NO y NO<sub>x</sub> en todas las casas. Aunque se lograron obtener equipos similares mediante arrendamiento, no estuvieron disponibles todo el tiempo del estudio, lo que afectó el calendario del proyecto.

A pesar de estas dificultades, la estancia del equipo de Stanford ha sido muy beneficiosa para capacitar al personal local en la realización de este tipo de mediciones.

En conclusión, aunque el estudio ha enfrentado varios desafíos logísticos y administrativos, se ha podido realizar. Es necesario resolver algunos problemas relacionados con la invasividad del estudio y las restricciones en la gestión de incentivos para facilitar la recolección de datos en futuros proyectos. Una mayor coordinación institucional será clave para superar estos obstáculos y avanzar en el análisis de las emisiones de gases contaminantes en distintas regiones del país. Así mismo se recomienda centrar en futuros estudios el trabajo en la RM y la de Valparaíso.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Kashtan, Y. S., Nicholson, M., Finnegan, C., Ouyang, Z., Lebel, E. D., Michanowicz, D. R., ... & Jackson, R. B. (2023). Gas and propane combustion from stoves emits benzene and increases indoor air pollution. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9653-9663.

Lebel, E. D., Finnegan, C. J., Ouyang, Z., & Jackson, R. B. (2022). Methane and NO<sub>x</sub> emissions from natural gas stoves, cooktops, and ovens in residential homes. *Environmental science & technology*, 56(4), 2529-2539.

Kashtan, Y., Nicholson, M., Finnegan, C. J., Ouyang, Z., Garg, A., Lebel, E. D., ... & Jackson, R. B. (2024). Nitrogen dioxide exposure, health outcomes, and associated demographic disparities due to gas and propane combustion by US stoves. *Science Advances*, 10(18), eadm8680.

Vardoulakis S., Kinney P. Grand Challenges in Sustainable Cities and Health. *Front. Sustain. Cities*. 2019;1 doi: 10.3389/frsc.2019.00007

DIR. Department of Industrial Relationships. State of California, online resource. General Industry safety orders, subchapter Control of hazardous substances, article 107 dusts, fumes, mists, vapors and gasses. Visitado online el 10 de Octubre del 2024.

[https://www.dir.ca.gov/title8/5155table\\_ac1.html#\\_blank](https://www.dir.ca.gov/title8/5155table_ac1.html#_blank)

Health Canada. (2021). *Residential indoor air quality guidelines: Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)*. Government of Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/publications/healthy-living/residential-indoor-air-quality-guidelines-carbon-dioxide/carbon-dioxide.pdf>

Health Canada. (2019). *Consultation on proposed residential indoor air quality guidelines for benzene*. Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/health-canada/programs/consultation-proposed-residential-indoor-air-quality-guidelines-benzene/document.html>

Traynor, G. (1996). Pollutant Emission Factors from Residential Natural Gas Appliances: A Literature Review. *Lawrence Berkeley National Laboratory*.

MDSF (Ministerio de Desarrollo Social y Familia). 2022. [en línea]. Resultados Vivienda Casen 2022. Recuperado en: [https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2022/Resultados\\_Vivienda\\_Casen\\_2022.pdf](https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2022/Resultados_Vivienda_Casen_2022.pdf). Consultado el 12 de Octubre de 2024.

Ministerio de Energía de Chile. (n.d.). *Indicadores ambientales: Factor de emisiones GEI del sistema eléctrico nacional*. Recuperado de <https://energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>. Consultado el 20 de Noviembre de 2024.

Sensini, P., Romero, P. D., Cozza, P., Fiora, J. A., & Gil, S. (2018). *Eficiencia energética en la cocción. ¿Cuáles son los artefactos de cocción más eficientes en Argentina?* *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 41, 57-67.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (n.d.). *Antecedentes del mercado de gas residencial*. Recuperado de <https://obtienearchivo.bcn.cl/>. Consultado el 20 de Noviembre de 2024.

GNL Global. (2019). *GNL Quintero abasteció el 64% del gas natural distribuido en la zona central de Chile*. Recuperado de <https://gnlglobal.com/>. Consultado el 20 de Noviembre de 2024.

IndexMundi. (n.d.). *Consumo de gas natural en Chile*. Recuperado de <https://www.indexmundi.com/>. Consultado el 20 de Noviembre de 2024.

IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>. Consultado el 14 de Noviembre de 2024.

Ministerio de Energía de Chile. (2020). *Balance Nacional de Energía 2020*. Recuperado de <https://energia.gob.cl/>. Consultado el 14 de Noviembre de 2024.

Cardemil, M (2023). *Emisiones de gas metano en el contexto de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Serie Minutas N° 119-23.



## 7. ANEXO

### a. Anexo 1: Formulario de inscripción de voluntarios







### FORMULARIO DE INSCRIPCIÓN

El proyecto "Transformación energética a nivel residencial: electrificación de estufas y cocinas en América Latina" busca entender ¿cómo los dispositivos de cocción y calefacción doméstica afectan la calidad del aire al interior de las viviendas? así como las potenciales repercusiones a la salud y, en base a estos datos, proponer regulaciones y programas públicos que favorezcan las condiciones de habitabilidad a nivel residencial.

Importantes instituciones se han sumado a esta causa: Universidad de Stanford, Universidad Mayor de Chile, Universidad Nacional de Colombia, EBP Chile, EBP Brasil, Fundación Futuro Latinoamericano y el Global Methane Hub y, entre las primeras acciones a desarrollar, se harán mediciones de viviendas en Chile.

El presente formulario tiene como objetivo que los interesados en participar registren sus antecedentes, para que el equipo de trabajo del proyecto seleccione los candidatos que cumplen con los criterios mínimos requeridos y que están asociados a características de las viviendas y de los artefactos de gas.

esblanco@gmail.com [Switch account](#) 

 Not shared

\* Indicates required question

**Confirmo mi cocina está conecta a la red de gas natural (no uso balón de gas) \***

Sí, confirmo.

No. Para mi cocina uso un balón de gas, leña u otra fuente de combustión.

**Nombres y Apellidos \***

Your answer

**Correo electrónico \***

Your answer

**Teléfono de contacto \***

Your answer

**Ciudad \***

Santiago

Temuco

[Next](#)
[Clear form](#)

Section 3 of 4

Santiago



Description (optional)

Comunas en Santiago

1. Cerrillos
2. Cerro Navia
3. Conchalí
4. El Bosque
5. Estación Central
6. Huechuraba
7. Independencia
8. La Cisterna
9. La Florida
10. La Granja
11. La Pintana
12. La Reina
13. Las Condes
14. Lo Barnechea
15. Lo Espejo
16. Lo Prado
17. Macul
18. Maipú
19. Ñuñoa
20. Pedro Aguirre Cerda
21. Peñalolén

Section 4 of 4

**Detalles**



Description (optional)

**Describa la dirección exacta de su vivienda \***

Short answer text

**Tipo de vivienda \***

1. Casa
2. Departamento

**Tipo de materialidad principal de muros \***

1. Ladrillo
2. Hormigón
3. Madera

**Antigüedad de construcción de la vivienda \***

1. Antes del 2007
2. Después del 2007

**Tipo de recinto cocina \***

1. Abierta
2. Cerrada

**Artefactos de gas natural o licuado \***

Por favor elige todas las opciones que apliquen

Section 4 of 4

Detalles

Description (optional)

**Describa la dirección exacta de su vivienda \***

Short answer text

**Tipo de vivienda \***

1. Casa
2. Departamento

**Tipo de materialidad principal de muros \***

1. Ladrillo
2. Hormigón
3. Madera

**Antigüedad de construcción de la vivienda \***

1. Antes del 2007
2. Después del 2007

**Tipo de recinto cocina \***

1. Abierta
2. Cerrada

**Artefactos de gas natural o licuado \***

Por favor elige todas las opciones que apliquen

- Cocina
- Estufa

## b. Anexo 2: Aprobación del Comité Ético Científico, Universidad Mayor



### ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Nº FOLIO : **0491**

ANT. : Proyecto investigación

MAT : Aprobación Proyecto

Fecha : 05 de junio de 2024

**DE: ALEXIS SOTO SALCEDO**  
**SECRETARIO**  
**COMITÉ ETICO CIENTIFICO INSTITUCIONAL**

**A: ESTELA BLANCO**  
**CRISTOBAL GALBÁN MALAGÓN**  
**INVESTIGADOR PRINCIPAL**  
**PRESENTE**

Me permito informar a Ud. que el Comité Ético Científico Institucional de la Universidad Mayor, acreditado por la Autoridad Sanitaria, ha efectuado la revisión y aprobación en **sesión ordinaria del día 05 de junio de 2024**, del siguiente proyecto de Investigación:

<b>Título de la Investigación</b>	<b>Towards the electrification of gas appliances in Latin America: a narrative from the Global South</b>
<b>Nombre Investigador Principal</b>	<b>Cristóbal Galbán, PHD Estela Blanco, PhD, MPH, MA</b>
<b>Nombre Co-investigadores</b>	<b>No indica</b>
<b>Programa Académico</b>	<b>Centro de Investigación en Sociedad y Salud (CISS) Centro de Investigación GEMA Universidad Mayor, sede Santiago</b>
<b>Nº Interno</b>	<b>715/2024</b>
<b>Versión</b>	<b>2</b>
<b>Fecha Evaluación</b>	<b>05.06.2024</b>

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,

<b>Decisión</b>	<b>Aprobado</b>
<b>Fecha de emisión de informe</b>	<b>05 de junio de 2024</b>
<b>Documentos Revisados por CEC</b>	<p><b>Documentos presentados 1era revisión 08.05.2024</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carta solicitud Evaluación de Proyecto firmada por investigador Cristóbal Galbán 16.04.2024</li> <li>- Proyecto de investigación</li> <li>- Proyecto de investigación en formato CEC UM</li> <li>- Formulario de Consentimiento Informado</li> <li>- Formulario de Solicitud de Dispensa de Proceso de Consentimiento Informado</li> <li>- Carta Compromiso Investigador Principal / firmada por Cristóbal Galbán 15.04.2024, Estela Blanco 04.03.2024</li> <li>- Carta Declaración de conflictos de interés investigador principal/ firmada Cristóbal Galbán 15.03.2024, Estela Blanco 04.03.2024</li> <li>- Curriculum Vitae investigador principal/ Cristóbal Galbán Malagón, Estela Blanco</li> <li>- Carta toma de conocimiento Director Programa Académico/firmada por Fernando Alfaro 15.04.2024, Nicolás Montalva 16.04.2024</li> <li>- Encuesta Vivienda</li> <li>- Contrato de Prestación de Servicios Consultoría</li> </ul> <p><b>Documentos presentados 2da revisión 05.06.2024</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carta conductora de respuesta con correcciones</li> <li>- Proyecto en formato CEC UM (versión limpia)</li> <li>- Proyecto en formato CEC UM (versión cambios en amarillo)</li> <li>- Formulario de consentimiento informado (versión limpia)</li> <li>- Formulario de consentimiento informado (versión cambios en amarillo)</li> </ul>

**Los miembros del Comité que participaron en la evaluación de este proyecto fueron:**

<b>Nombre</b>	<b>Grado Académico</b>	<b>Profesión</b>
Andrés Roig Petersen	Magister	Vicepresidente CEC - Odontólogo.
Alexis Soto Salcedo	Doctor	Secretario CEC - Psicólogo
Anabel Valdés Tagle	Magister	Abogada
Carlos Kilchemmann Fuentes	Magister	Matrón

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,  
Re-Acreditado por Seremi Salud Región de la Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 11/enero/2024

Sara Padilla Carrasco	---	Miembro de la Comunidad
Sergio Castillo Cardenas	Doctor	Médico Internista
Daniel Skorka Dvash	Magíster	Médico Internista
Hilda Bonilla Gómez	Magister	Matrona
Natalia Salvadores Bersezio	Doctor	Bioquímica
Claudio Varas Miño	Magister	Sociólogo
Bibiana Rendón Zapata	Doctor	Licenciada en Historia
Alicia Infante Peñafiel	Doctor	Enfermera

Los miembros del Comité que participaron en la evaluación de este proyecto declararon no presentar conflictos de interés

## I. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS:

Presenta documentación requerida para evaluación en forma completa y debidamente firmada.

## II. ASPECTOS ÉTICOS:

### 1. Aspectos generales:

Se presenta proyecto de investigación que tiene como objetivo realizar una estimación de los riesgos para la calidad del aire interior de los electrodomésticos que funcionan con gas en América Latina (calentadores de ambiente, calentadores de agua y estufas de gas) en comparación con las soluciones electrificadas.

Según lo descrito por los autores, este proyecto tiene como objetivo entregar los insumos para que los países de América Latina adopten programas para apoyar la eliminación gradual del uso de combustibles sólidos y electrodomésticos a gas natural en favor de alternativas totalmente eléctricas y eficientes.

Serán invitadas a participar las personas que tengan una cocina o estufa a gas en su vivienda. Para participar, se les solicitará autorización para ingresar al domicilio a realizar mediciones de gases producto de la combustión producida por uso de gas natural o licuado en artefactos de cocina y estufas, y posteriormente contestar una breve encuesta sobre su vivienda y sus artefactos de gas. La visita tendrá una duración de máximo 5 horas.

Por cada vivienda que acceda a estas mediciones se les asignará un pago de 30.000 (pesos chilenos).

Realiza un apropiado análisis de los requisitos éticos involucrados en la propuesta de investigación considerando valor social respecto de que los resultados permitirán tener una evidencia local sobre los niveles de contaminantes; validez científica a través de una metodología estándar y validada para medir niveles de gases intradomiciliarios; cuenta con evaluación independiente realizada por un comité ético científico acreditado por autoridad sanitaria; relación riesgo – beneficio, señalando que no existen

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,  
Re-Acreditado por Seremi Salud Región de la Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 11/enero/2024

riesgos asociados y que se le entregará un informe a los participantes de contaminantes en el aire; cuenta, además, con un proceso de consentimiento informado; y respeto por los sujetos inscritos garantizando la voluntariedad y la entrega de información completa. Además, describe los principios éticos de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia, aplicados al estudio.

Señala que la información será anonimizada y almacenada bajo llave en el laboratorio donde se desempeña el investigador principal. Luego de 5 años será eliminada.

La investigación corresponde a proyecto procedente de los Centros de investigación GEMA y CISS de la Universidad Mayor. Los investigadores se encuentran identificados y calificados para realizar el estudio, en los roles definidos para cada uno y declara que no hay presencia de conflictos de interés entre alguno de los investigadores y el centro donde se realiza la investigación.

## **2. Formulario de consentimiento informado:**

Presenta formulario de consentimiento informado que se aplicará en modalidad presencial.

La información es clara, comprensible y completa respecto de objetivos, posibles beneficios y riesgos, forma de participación de la persona, duración del estudio.

Señala derecho explícito de la persona a no participar o a retirarse del estudio, en cualquier momento, sin ningún perjuicio.

Por participar del estudio, se le entregará al informante un informe de las mediciones realizadas a la vivienda, y un pago de 30.000 (pesos chilenos).

Garantiza la confidencialidad de datos personales para esta investigación.

Describe usos potenciales de los resultados de la investigación.

Indica email de contacto del investigador principal o de otro investigador responsable del estudio. Incluye datos de contacto de Comité Ético Científico Institucional que revisó la propuesta de investigación.

## **III. ASPECTOS METODOLÓGICOS:**

Serán invitadas a participar las personas que tengan una cocina o estufa a gas en su vivienda. Para participar, se les solicitará autorización para ingresar al domicilio para realizar mediciones de gases producto de la combustión producida por uso de gas natural o licuado en artefactos de cocina y estufas, y posteriormente contestar una breve encuesta sobre su vivienda y sus artefactos de gas. La visita tendrá una duración de máximo 5 horas.

Este estudio se está realizando en otros países como Brasil y Colombia, además de Chile. En Chile el muestreo será por conveniencia de 45 viviendas ubicadas en las ciudades de Santiago y Temuco, 30 y 15 casas respectivamente. Los voluntarios serán invitados a participar a través de Redes Sociales. Se ofrece un incentivo de \$30.000 por participar.

Adjunta la encuesta a aplicar. No se solicitará ningún dato sensible de la persona que contestará la encuesta.

El análisis estadístico será descriptivo, y se utilizará el software R para el procesamiento de datos.

Presenta carta Gantt de 12 meses de duración, que menciona actividades acordes a los pasos del estudio.

#### IV. ASPECTOS JURÍDICOS

Presenta carta de toma de conocimiento de la investigación, de parte del director Fernando Alfaro, del Centro de Investigación GEMA y del director Nicolás Montalva del Centro de Investigación en Sociedad y Salud de la Universidad Mayor.

No involucra manejo de información confidencial.

**Por lo anteriormente expuesto, este Comité resuelve dejar este proyecto de investigación en estado de APROBADO para su ejecución.**

**Mediante la presente, recordamos a usted, que en su calidad de investigador principal se compromete a:**

1. Utilizar el formulario de Consentimiento Informado y Asentimiento Informado (este último sólo en caso de menores de edad), timbrado y visado por el Comité Ético Científico (CEC) Universidad Mayor.
2. Utilizar el Instrumento de recolección de datos (escala, cuestionario, entrevista, etc), timbrado y visado por el Comité Ético Científico (CEC) Universidad Mayor.
3. Debe solicitar la carta de aceptación de la autoridad o autoridades administrativas de los establecimientos donde se realizará el estudio y remitir una copia al CEC U Mayor.
4. Informar al Comité CEC U Mayor en caso de que se realicen modificaciones sustanciales a esta investigación, de tipo metodológico y/o ético, una vez que ésta ya ha sido aprobada.
5. Presentar al CEC U Mayor un informe anual respecto del desarrollo de la investigación. Se considera 1 año calendario, desde la fecha de aprobación de la investigación por este comité.

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,  
Re-Acreditado por Seremi Salud Región de la Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 11/enero/2024

6. Presentar al CEC U Mayor el informe final de la investigación, una vez concluida ésta. (En el lapso máximo de 1 mes posterior al término de la investigación)
7. Guardar los documentos relacionados a la investigación, por un periodo de 5 años, resguardando en todo momento la confidencialidad de los datos.
8. La validez de esta aprobación finaliza cuando concluye la investigación.

Para constancia y firma;

  
  
**Alexis Soto Salcedo**  
Secretario  
Comité Ético Científico Institucional  
Universidad Mayor

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,  
Re-Acreditado por Seremi Salud Región de la Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 11/enero/2024

## c. Anexo 3: Formularios de Consentimiento Informado



**FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO  
PARA INVESTIGACION**

**Investigador Cristóbal Galbán, Profesor Titular de la Universidad Mayor, Doctor en Ciencias del Mar.**

**Este documento se dirige a:** \_\_\_\_\_ **(nombre del participante)**

**Título de la Investigación:** "Hacia la electrificación de los electrodomésticos a gas en América Latina: una narrativa desde el Sur Global"

**Patrocinante:** Fundación Futuro Latinoamericano Internacional

Este formulario de consentimiento informado tiene la finalidad de ayudarle a tomar la decisión de participar en un estudio de investigación. Tómese su tiempo, lea este formulario minuciosamente, y discuta cualquier inquietud que usted tenga con el investigador principal a cargo del estudio, o a algún miembro de su personal. Usted también podrá discutir su participación en la investigación con los demás miembros de su familia o cercanos que estime pertinente antes de tomar la decisión.

Usted ha sido invitado/a a participar en un proyecto de investigación que está estudiando la calidad del aire interior. El propósito de este estudio es determinar los niveles de ciertos gases (metano, óxido nítrico y dióxido de carbono) emitidos por los procesos normales de los electrodomésticos de gas (cocina y/o estufa).

El motivo por el cual usted ha sido elegido es porque tiene una cocina y/o una estufa de gas en su vivienda que está conectada a la red de gas natural. Al participar en este estudio, usted está de acuerdo en dejar a académicos y estudiantes de la Universidad Mayor (máximo 3 personas) permanecerán en su vivienda por 5 horas midiendo gases producto de la combustión producida por uso de gas natural en artefactos de cocina y estufas. Para entrar se enviará un correo el día previo indicando los nombres y apellidos respectivamente a los habitantes del domicilio a visitar. Durante la estancia en la casa los miembros del equipo que estén realizando las medidas llevarán una tarjeta colgada del cuello con el nombre apellidos e institución a la que pertenecen. Para medir los gases en su vivienda es posible que el equipo de investigación tenga que sellar la habitación donde se encuentra el artefacto de gas. Eso se hará con plástico, lo cual será desmontado al finalizar las mediciones.

Formulario de Consentimiento Informado Versión N°1, Fecha 05/06/2024

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor.  
Acreditado por Seremi Salud Región de Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 17 de enero de 2024



Página 1

El mismo día de la visita de monitoreo, el equipo de investigación le pedirá contestar a una encuesta breve sobre su vivienda y sus artefactos de gas. La encuesta tienen 6 preguntas sobre los artefactos de gas en su vivienda, la materialidad de la vivienda, la cantidad de personas que viven en la vivienda y cuánto tiempo pasan al interior. Se estima que se tomará 5-10 minutos para contestar.

Usted consiente en que:

- 1) Su participación en este estudio es voluntaria, por lo que usted podrá rehusarse de participar o retirarse de la investigación en cualquier momento sin ser obligado(a) a dar razones. Si esto ocurriese, deberá informar al investigador responsable al momento del retiro.
- 2) Los datos obtenidos serán usados únicamente para el propósito de esta investigación y serán almacenadas en el laboratorio del Investigador Principal bajo llave. El formato digital de los datos será utilizado solo para fines de esta investigación, de acceso restringido a los investigadores, y toda la información será anonimizada. Una vez finalizada la investigación, los datos serán almacenados por 5 años y posterior a ese plazo serán eliminados.
- 3) Si en el futuro datos deseasen ser usados para propósitos diferentes a los de esta investigación, deberá solicitársele un nuevo consentimiento informado.
- 4) Los posibles beneficios que tendrá en este estudio son mínimos. Si se identifica niveles peligrosos de gases medidos en su hogar, usted será notificado. También recibirá un informe de los resultados de las mediciones de contaminantes realizada en su vivienda. Además, estará haciendo una libre y generosa donación para la investigación que podrá ser beneficiosa para futuras generaciones.
- 5) Los posibles riesgos de este procedimiento incluyen: 1) riesgo de privacidad al abrir su vivienda al equipo de investigación y 2) riesgo de pérdida de confidencialidad de su domicilio. Estos riesgos serán minimizados, identificando previamente al personal que ingresará a su vivienda, y utilizando medidas de resguardo de confidencialidad, como la anonimización de los datos de su vivienda y la información que del estudio se obtenga.
- 6) Usted recibirá un incentivo de 30.000 por su participación.



Página 2

Formulario de Consentimiento Informado Versión N°1, Fecha 05/06/2024

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor.  
Acreditado por Seremi Salud Región de Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 11/enero/2024

- 7) La duración total de este estudio será de 1 visita de un máximo de 5 horas. Su participación consistirá en dejar al equipo de investigación realizar medidas en su cocina, no ocuparla durante la realización de la medición y monitoreo, además de contestar una breve encuesta respecto del uso de sus artefactos.
- 8) Cualquier pregunta que quiera hacer con relación a su participación en este estudio deberá ser contestada por Investigador Principal: Cristóbal Galbán Correo: cristobal.galban@umayor.cl
- 9) Los resultados de este estudio podrán ser publicados, pero su identidad no será divulgada o revelada, tomándose todas las medidas necesarias para proteger la confidencialidad de sus datos al menos que sea solicitada por ley.
- 10) Este estudio fue revisado por el Comité Ético Científico Institucional de la Universidad Mayor, que se encuentra acreditado por la Seremi de Salud Araucanía. En caso de consultas sobre sus derechos como sujeto del estudio, puede dirigirse al Presidente del Comité, Mg. Natalia Chahin I., al teléfono 223336404, o al correo electrónico [comite.ccientifico@umayor.cl](mailto:comite.ccientifico@umayor.cl)

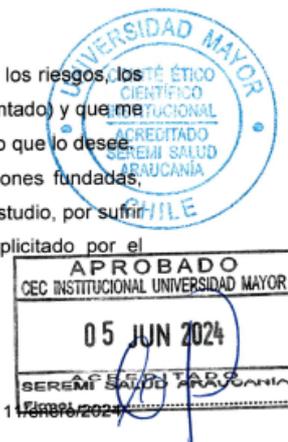
Al firmar a continuación acepto que:

- He leído y comprendido este formulario de consentimiento informado.
- Se me ha explicado el propósito de esta investigación, los procedimientos, los riesgos, los beneficios y los derechos que me asisten (o a mi hijo/hija, familiar o representado) y que me puedo retirar (o a mi hijo/hija, familiar o representado) de ella en el momento que lo desee.
- El investigador principal me puede solicitar abandonar el estudio por razones fundadas, como en caso de necesitar otro tratamiento, por no cumplir con el plan de estudio, por sufrir una lesión relacionada con el estudio, o por cualquier otro motivo, explicitado por el investigador.

Página 3

Formulario de Consentimiento Informado Versión N°1, Fecha 05/06/2024

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,  
Acreditado por Seremi Salud Región de Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 17 de mayo de 2024





- No estoy renunciando a ningún derecho que me asista.
- Firmo este documento voluntariamente, sin ser forzado a hacerlo.

Al momento de la firma recibiré una copia firmada y fechada de este formulario de consentimiento.

**FIRMA DEL INVESTIGADOR  
ó PROFESIONAL RESPONSABLE**

**Nombre:** Cristóbal Galbán

**RUT:** 24.603.704-3

**Teléfono:** 56223281201

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**FIRMA DEL PARTICIPANTE  
(O REPRESENTANTE LEGAL)**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**RUT:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_



Página 4

Formulario de Consentimiento Informado Versión N°1, Fecha 05/06/2024

Comité Ético Científico Institucional, Universidad Mayor,  
Acreditado por Seremi Salud Región de Araucanía. Resolución Exenta N°2309663975 del 11/enero/2024

## d. Anexo 4: Ejemplo de informe para viviendas



FECHA:

Estimado/a:

Gracias por ofrecer su vivienda para las pruebas de emisiones de cocinas el FECHA. Agradecemos su ayuda con nuestra investigación. Queríamos brindar información de seguimiento sobre el estudio, incluida la comparación de las emisiones de su cocina con las de otros hogares de los que tomamos muestras en julio.

Nuestra investigación se centra en las emisiones de varios contaminantes del aire interior procedentes de cocinas de gas natural. De particular preocupación son dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La mayoría de las cocinas a gas emiten aproximadamente la misma cantidad de dióxido de nitrógeno por unidad de gas quemada, por lo que su exposición a este contaminante depende en gran medida de si tiene una cocina o eléctrica, con qué frecuencia e intensidad usa su cocina y qué tan ventiladas son su cocina y su casa. Las emisiones de benceno, por otra parte, varían considerablemente de una cocina a otra. Por lo tanto, su exposición al benceno de su cocina depende del uso y la ventilación, pero también de si su cocina emite un alto contenido de benceno.

A continuación, se muestran los resultados para su cocina, expresados en percentiles del tamaño de nuestra muestra. "Quemador en temperatura alta" se refiere a un quemador de gas único en la posición "alta". La forma en que las tasas de emisión de sus quemadores y horno se traducen en concentraciones de contaminantes que puede respirar depende de muchos factores, incluido qué tan grande y bien ventilada sea su casa, qué tan efectiva es su campana extractora y si la usa, lo cual es muy recomendable, si es posible.

En el siguiente resumen, verá los conceptos de "**tasa de emisión**" y "**percentil de la medición**" de su cocina. **La tasa de emisión** es la tasa a la que se forma un contaminante a lo largo del tiempo. Aquí expresamos las tasas de emisión en miligramos de contaminante formado por hora de encendido del quemador. **El percentil** es un valor estadístico que se utiliza para explicar cómo se comparan las tasas de emisión de benceno de su cocina con otras cocinas que medimos en diferentes hogares. Por ejemplo, si su quemador está en el percentil 50, entonces el 50 % de las cocinas que medimos tienen una tasa de emisión por encima y 50% tienen una tasa por debajo de su quemador. De manera similar, un percentil 90 significa que su quemador produjo más benceno que el 90% de las cocinas que medimos.

### **Tasas de emisión y percentil: dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

\*Notas: Anotamos qué quemador medimos en su cocina (PI = Trasero izquierdo, TI = Frontal izquierdo, PD = Trasero derecho, TD = Frontal derecho)

Quemador FD en temperatura alta: 0,148 mg de benceno por hora, percentil 70 (el 70 % de las cocinas a gas que medimos tenían emisiones de benceno por debajo del quemador).

### **Tasas de emisión y percentil: monóxido de carbono (CO)**

\*Notas: Anotamos qué quemador medimos en su cocina (PI = Trasero izquierdo, TI = Frontal izquierdo, PD = Trasero derecho, TD = Frontal derecho)

Quemador FD en temperatura alta: 0,148 mg de benceno por hora, percentil 70 (el 70 % de las cocinas a gas que medimos tenían emisiones de benceno por debajo del quemador).

### **Tasas de emisión y percentil: metano (CH<sub>4</sub>)**

\*Notas: Anotamos qué quemador medimos en su cocina (PI = Trasero izquierdo, TI = Frontal izquierdo, PD = Trasero derecho, TD = Frontal derecho)

Quemador FD en temperatura alta: 0,148 mg de benceno por hora, percentil 70 (el 70 % de las cocinas a gas que medimos tenían emisiones de benceno por debajo del quemador).

### **Tasas de emisión y percentil: benceno**

\*Notas: Anotamos qué quemador medimos en su cocina (PI = Trasero izquierdo, TI = Frontal izquierdo, PD = Trasero derecho, TD = Frontal derecho)

Quemador FD en temperatura alta: 0,148 mg de benceno por hora, percentil 70 (el 70 % de las cocinas a gas que medimos tenían emisiones de benceno por debajo del quemador).

### **Tasas de emisión y percentil: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

\*Notas: Anotamos qué quemador medimos en su cocina (PI = Trasero izquierdo, TI = Frontal izquierdo, PD = Trasero derecho, TD = Frontal derecho)

Quemador FD en temperatura alta: 0,148 mg de benceno por hora, percentil 70 (el 70 % de las cocinas a gas que medimos tenían emisiones de benceno por debajo del quemador).

Para reducir su exposición a los contaminantes de las cocinas de gas recomendamos:

- Garantizar una ventilación adecuada con una campana extractora o una ventana abierta.
- Utilizar electrodomésticos de cocina eléctricos: teteras, hornos tostadores y ollas de cocción lenta

Gracias una vez más por permitirnos medir la calidad de aire en su vivienda. Si tiene una duda de este informe o del estudio, no dude en comunicarse con a través del correo [cristobal.galban@umayor.cl](mailto:cristobal.galban@umayor.cl)

Atentamente,

Dr. Cristóbal Galbán-Malagón  
Centro de Genómica, Ecología y Medio Ambiente  
Universidad Mayor

## e. Anexo 5: Formulario de caracterización vivienda seleccionada

### Hacia la electrificación de los electrodomésticos a gas en América Latina: Encuesta a viviendas

La **Universidad Mayor** en conjunto con un consorcio de universidades y empresas internacionales como la Universidad de Stanford y la Universidad Nacional de Colombia, la empresa EBP Chile y Brasil y la Fundación Futuro Latinoamericano, están trabajando el proyecto *"Hacia la electrificación de los electrodomésticos a gas en América Latina: una narrativa desde el Sur Global"*. Este proyecto busca identificar niveles de concentración de distintos gases dentro de las casas y su impacto en la contaminación intradomiciliaria y problemas de salud generados por emisiones de gases contaminantes asociados al uso de artefactos de gas (cocinas y calefactores). El objetivo del estudio es poder proponer regulaciones o programas al Estado para mejorar las condiciones de habitabilidad de las viviendas en Chile.

Para esto necesitamos monitorear los gases emitidos por el uso de artefactos de gas que funcionan al interior de las viviendas de las ciudades de Santiago y Temuco. Favor de contestar las preguntas a continuación:

esblanco@gmail.com [Switch account](#)



Not shared

\* Indicates required question

Nombre \*

Your answer

RUT \*

Your answer

Correo electrónico \*

Your answer

¿Cuál es la marca de su cocina / encimera a gas?

Your answer

¿Cuántos años tiene aproximadamente su cocina / encimera de gas? Su mejor suposición está bien.

Your answer \_\_\_\_\_

¿Su cocina / encimera a gas se enciende con una luz piloto, una chispa eléctrica o se enciende a mano (por ejemplo, con una cerilla)? Tenga en cuenta que las chispas eléctricas emitirán un sonido de "clic" cuando encendiendo la llama.

- Una luz piloto
- Una chispa eléctrica
- Se enciende a mano

¿Cuánto tiempo (horas al día) se ocupa la cocina / encimera a gas de su vivienda?

Your answer \_\_\_\_\_

¿En qué año se construyó su vivienda? (Aprox)

Your answer \_\_\_\_\_

¿Cuántas personas viven en esta vivienda?

Your answer \_\_\_\_\_

¿Me podría indicar el promedio de tiempo (horas al día) que pasa cada habitante de la vivienda en el interior de la casa?

Your answer \_\_\_\_\_

¿Tiene alguna consulta? ¿Algún comentario para el equipo?