

# Emisiones de CH<sub>4</sub>, CO, y NO<sub>x</sub> generadas por estufas a Gas Natural residencial en Colombia

Thalia Alejandra Montejo; Ricardo Morales Betancourt; Jesús Efrén Martín



UNA INICIATIVA DE:



IMPLEMENTADO POR:



Stanford University



UNIVERSIDAD  
MAYOR



Universidad de  
los Andes  
Colombia



30 años | futuro  
latinoamericano

## **Contexto del proyecto**

### **Colombia**

20 viviendas @ Bogotá

### **Brasil**

30 viviendas @ São Paulo

### **Chile**

30 viviendas @ Santiago  
15 viviendas @ Temuco



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

Iniciativa de:



Implementado por:



## Antecedentes

¿Por qué preocuparnos por las emisiones de gas natural en hogares?



**EEUU**

53 viviendas @California

- Estas emisiones suman 28.1 Gg CH<sub>4</sub>/año, con un impacto climático similar al de 500,000 carros (en 20 años).
- Este hallazgo impulsó políticas de transición energética en California, incluyendo restricciones al gas en nuevas construcciones.



## **Colombia: Contexto Local**

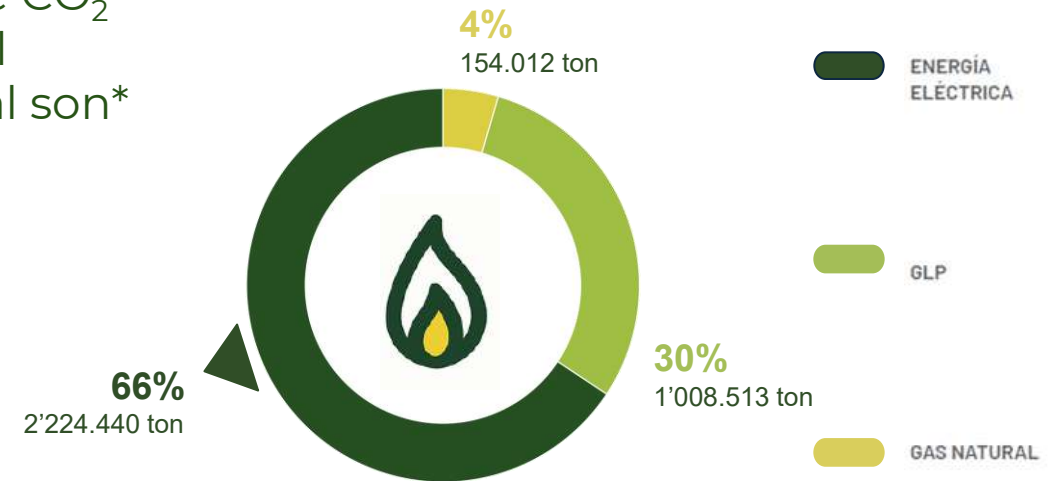
- ▶ El país se ha comprometido a reducir un 51% de sus emisiones de CO<sub>2</sub>eq al 2030 y un 30% de las emisiones de metano respecto a 2020 (NDC y Global Methane Pledge).
- ▶ Para lograrlo, necesita mejorar la precisión de sus inventarios, incluyendo fuentes como la cocción residencial.
- ▶ Este estudio mide por primera vez en Latinoamérica las emisiones reales de CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> y CO en cocinas a gas bajo condiciones reales.



## EL DESAFÍO: Contaminación en Colombia



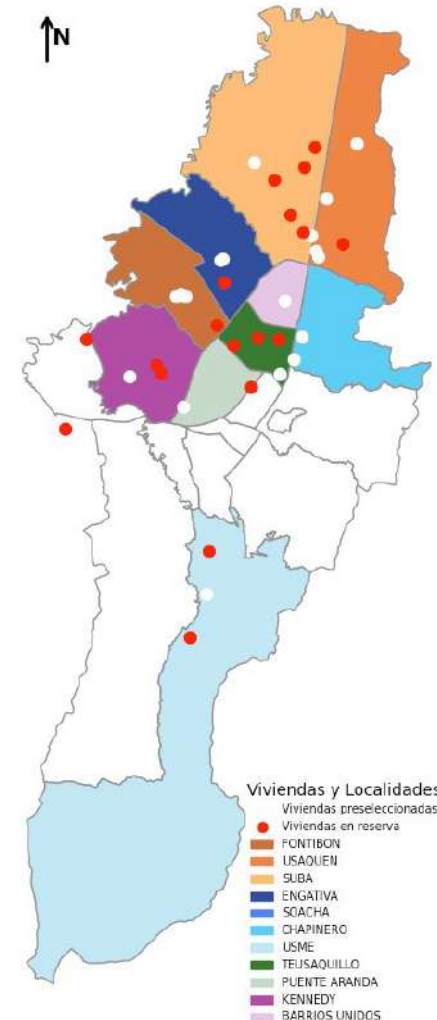
- El sector residencial en Colombia es responsable del **1.9%** de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> por cocción en el sector residencial son\*



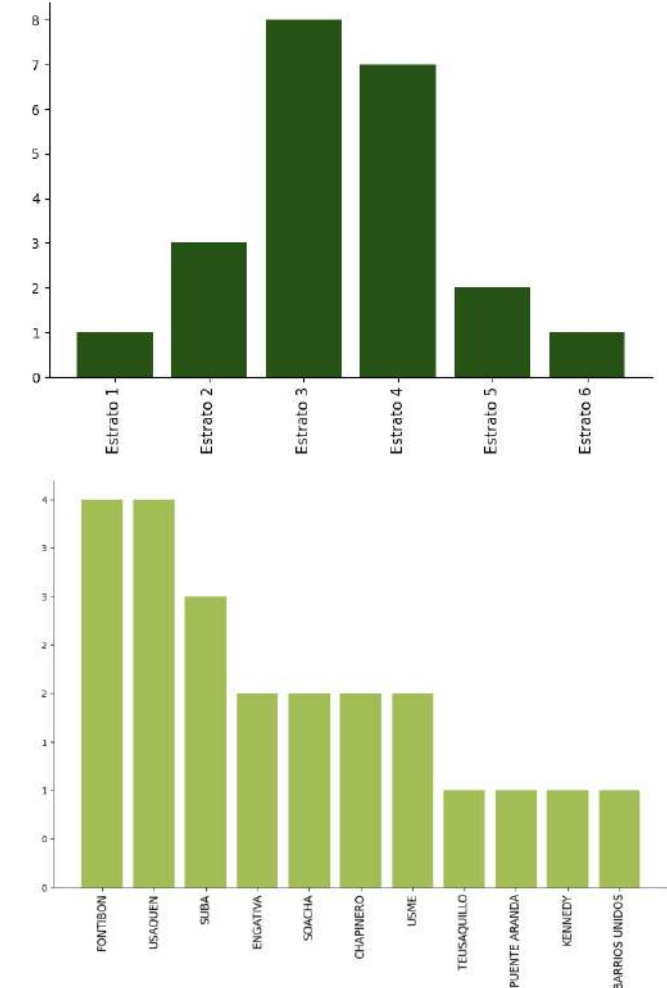
\*sin incluir emisiones de leña que se considera como biogénico

## Metodología: : Convocatoria y muestra

- Se realizaron **mediciones en 23 viviendas** en Bogotá, abarcando todos los estratos socioeconómicos y múltiples localidades.
- Las cocinas evaluadas tenían entre **3 y 33 años de antigüedad**, con una **amplia gama de marcas y modelos** de estufas.
- Esta selección permitió capturar **condiciones reales de uso y ventilación**, representativas de la variedad de hogares urbanos en Colombia.

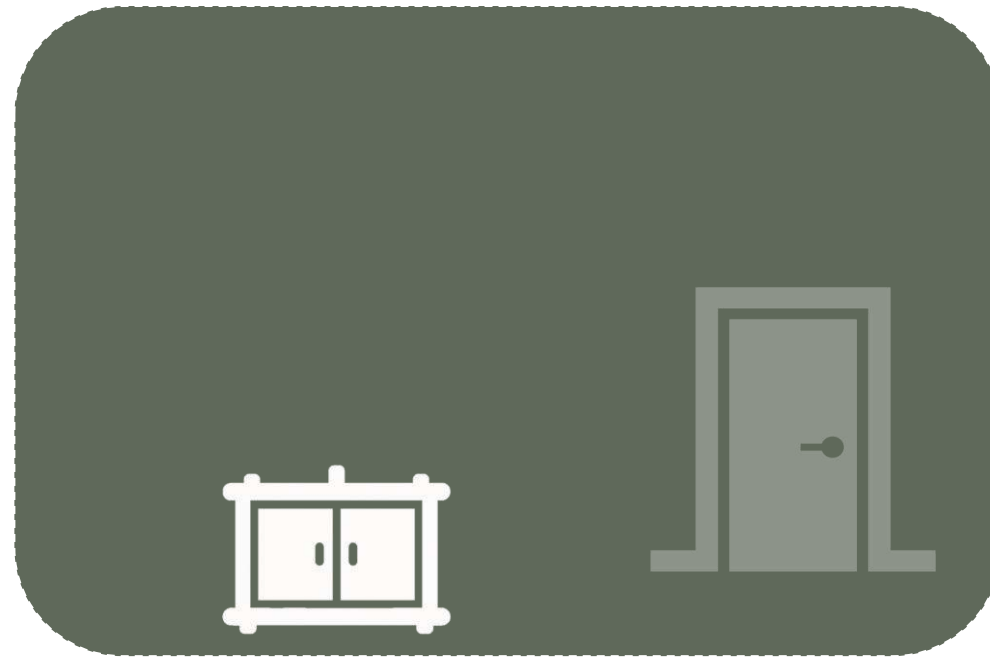


a) Estrato socioeconómico



b) Localidad en la que están ubicadas 6

## Metodología: Tasas de emisión de gases



## Metodología: Tasas de emisión de gases

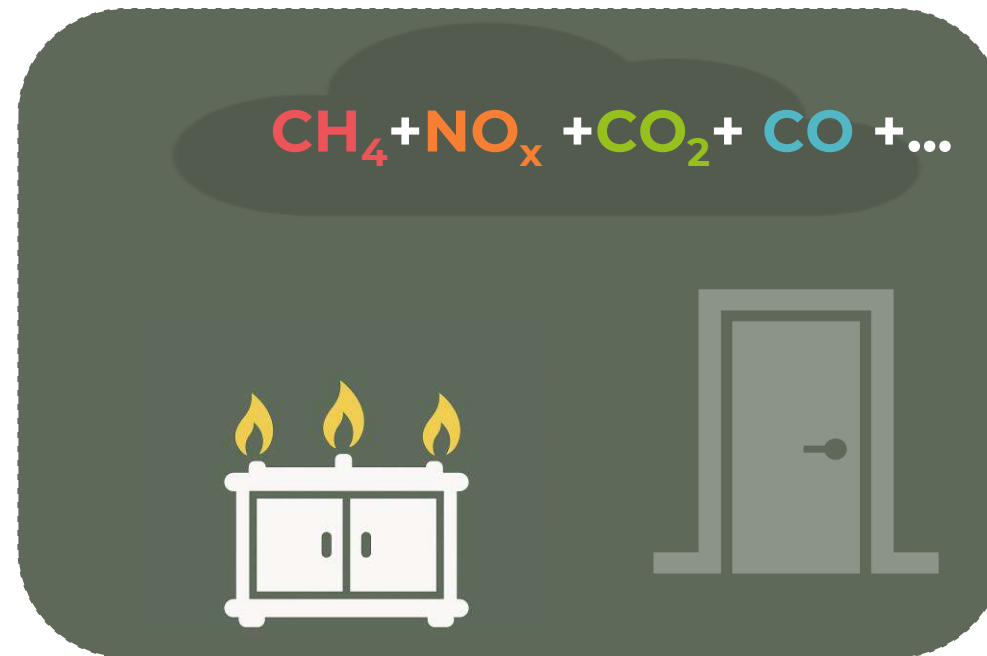


## Metodología: Tasas de emisión de gases

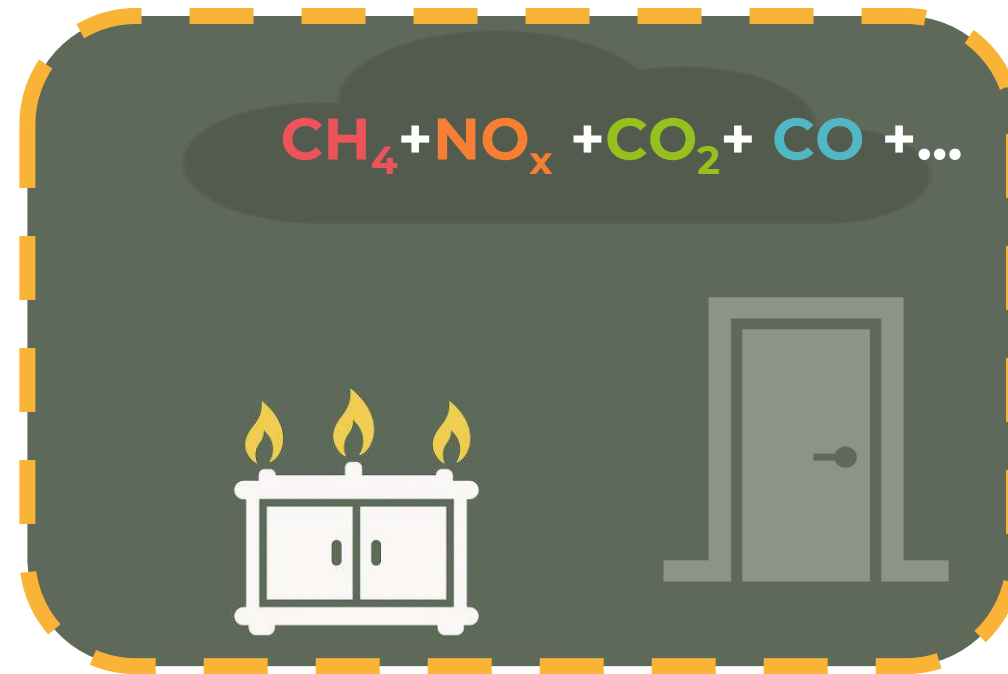


Confinamiento de la cocina (define el **volumen  $V_0$** )

## Metodología: Tasas de emisión de gases



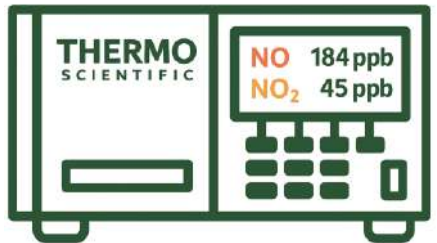
## Metodología: Tasas de emisión de gases



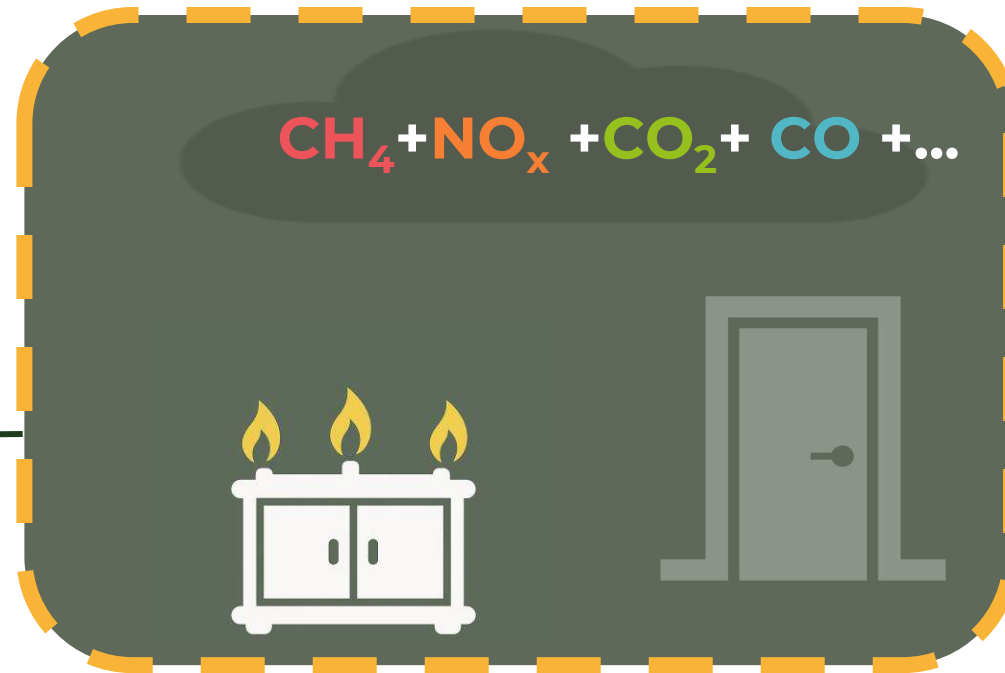
Confinamiento de la cocina (define el **volumen  $V_0$** )

## Metodología: Tasas de emisión de gases

Dispositivos de  
medición de gases



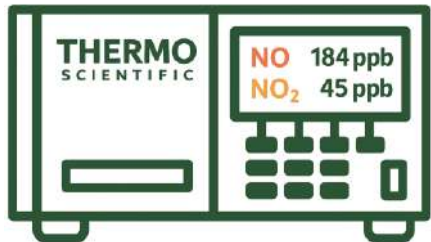
Muestreo  
continuo



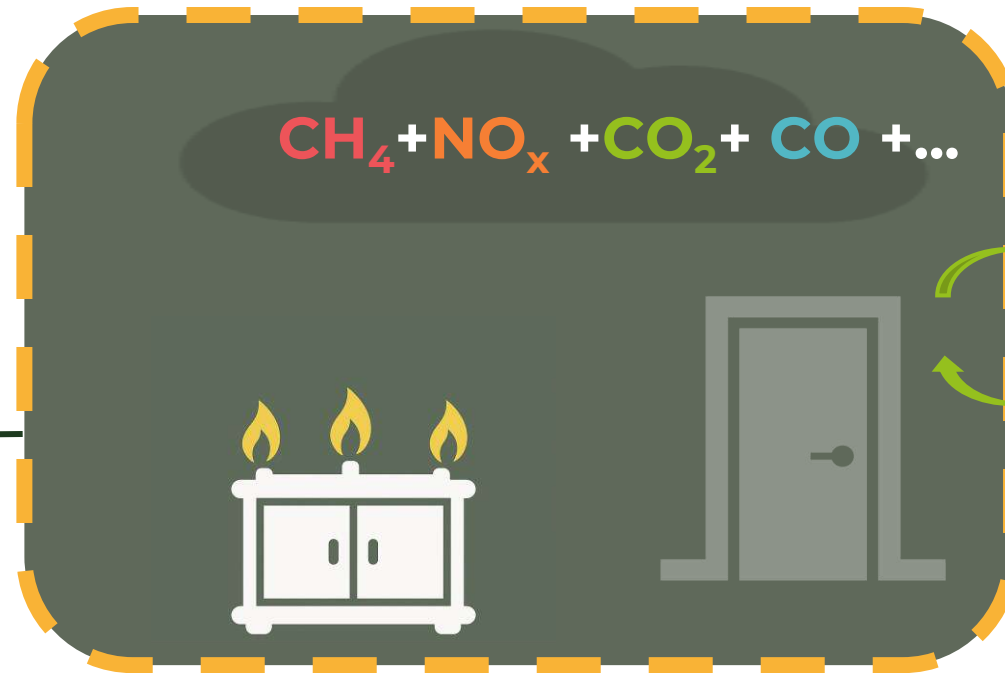
Confinamiento de la cocina (define el **volumen  $V_0$** )

## Metodología: Tasas de emisión de gases

Dispositivos de medición de gases



Muestreo continuo



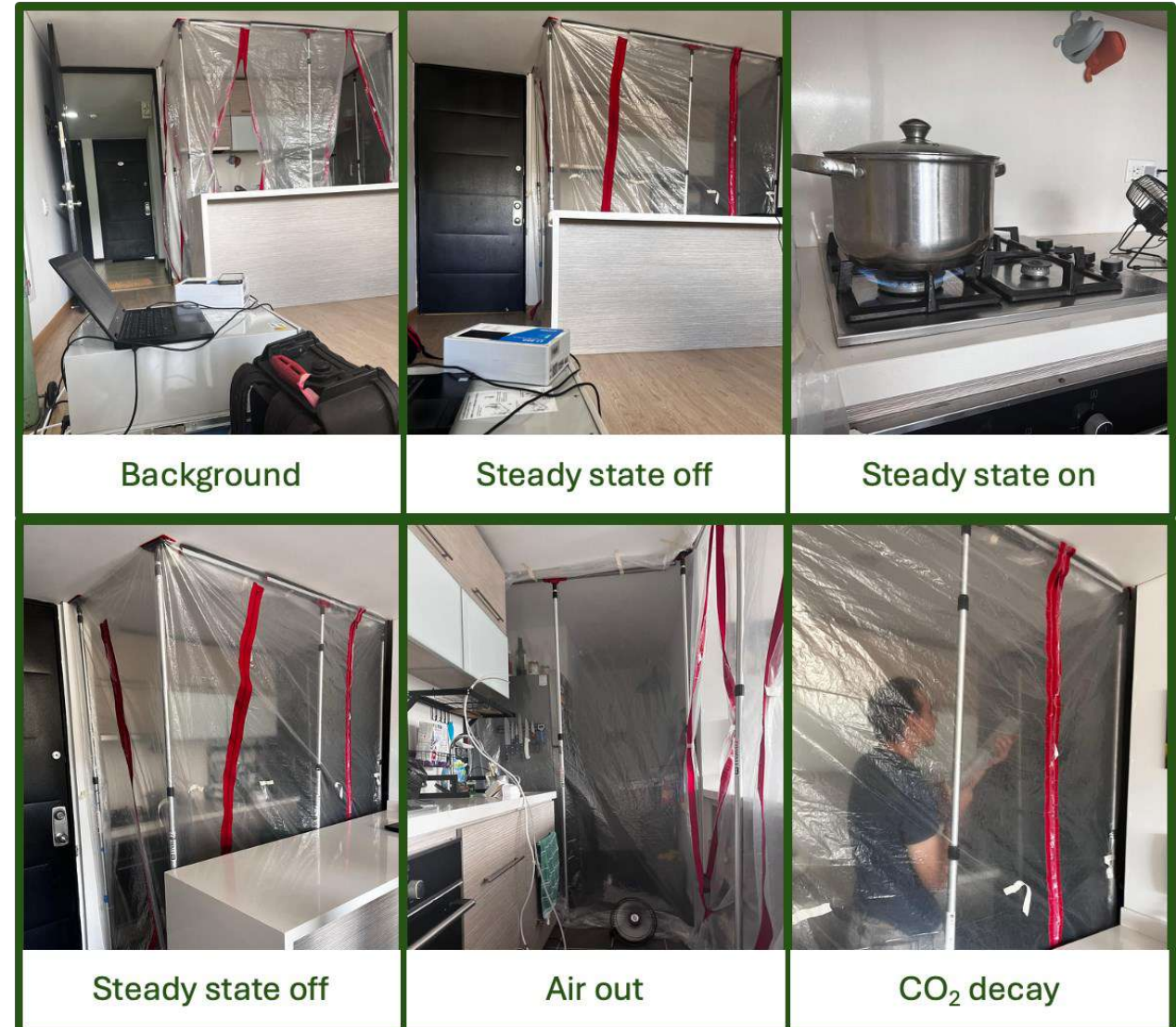
Confinamiento de la cocina (define el **volumen  $V_0$** )

Debe medirse el **intercambio de aire** con los alrededores!

## Metodología: Etapas de la medición

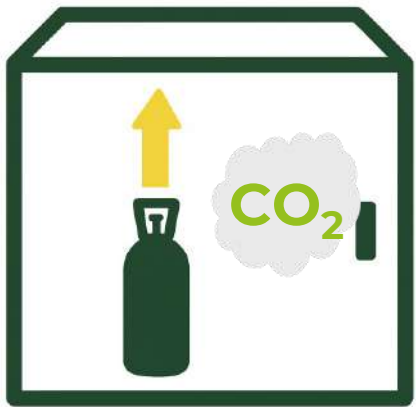
Se establecieron los siguientes **momentos de operación** de la estufa:

- ▶ Emisiones con **estufas apagadas** (“steady state off”)
- ▶ Emisiones con **estufas encendidas** (“steady state on”)
- ▶ Emisiones durante el **encendido** y el **apagado** (“pulse on/off”)



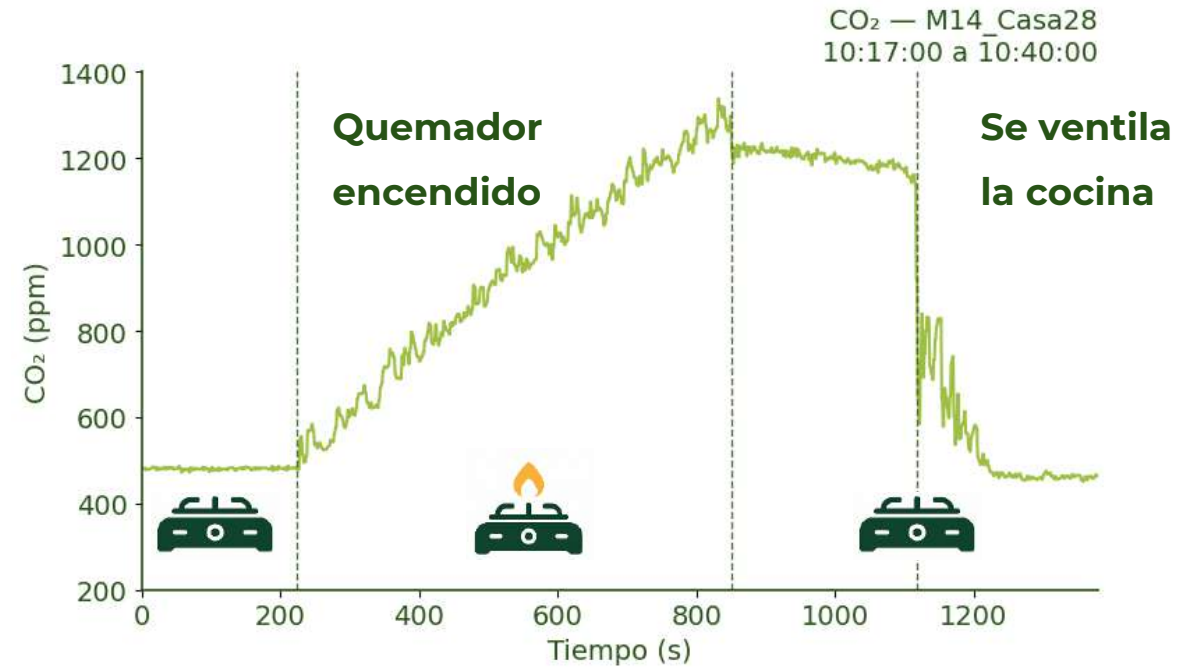
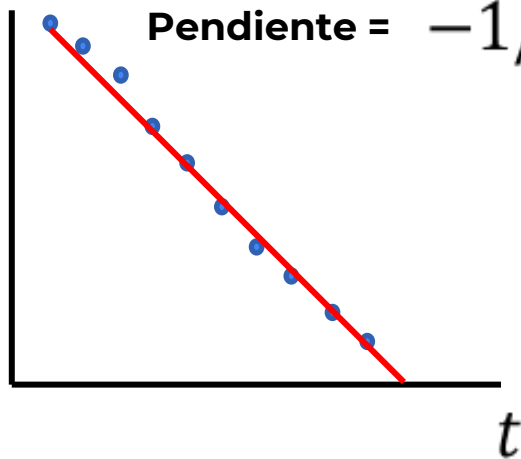
## Metodología: Tasa de intercambio

La **tasa de intercambio** se determinó midiendo la tasa de decaimiento de **CO<sub>2</sub>** en ausencia de fuentes



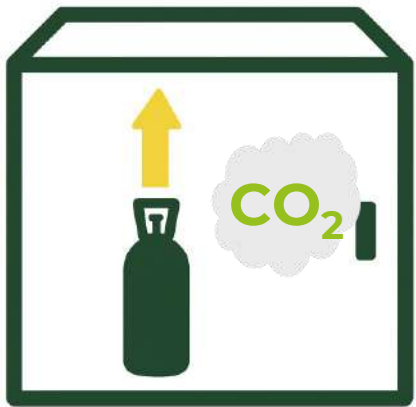
$$\ln \left( \frac{C_s(t) - C_b}{C_0 - C_b} \right)$$

Pendiente =  $-1/\tau$



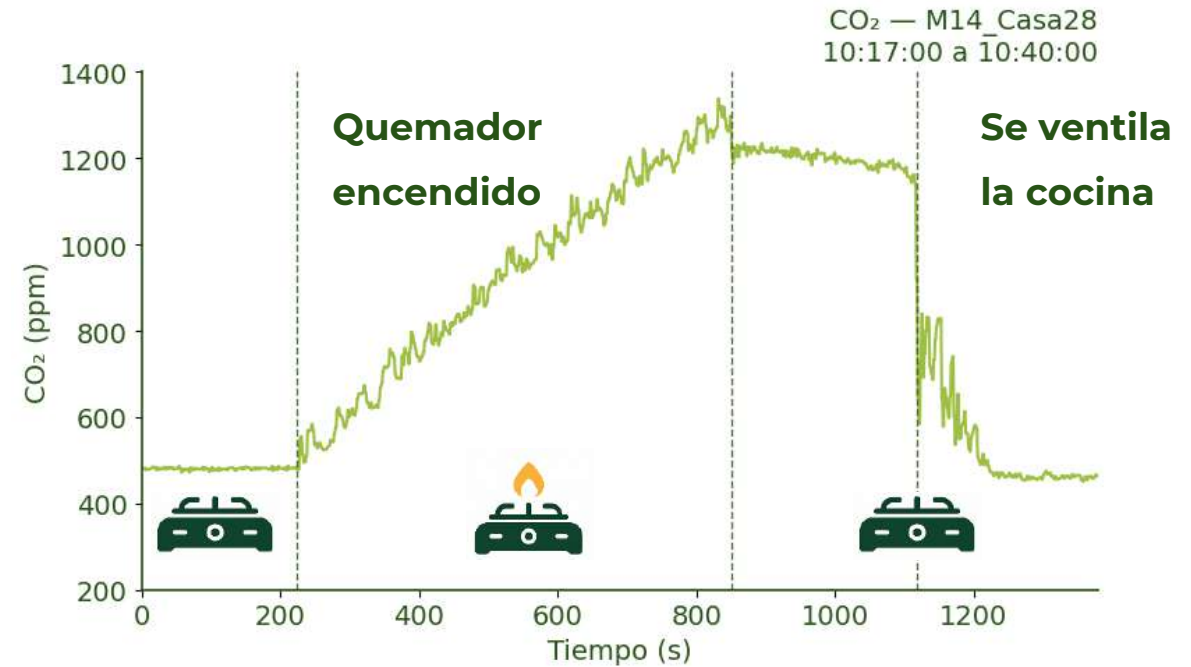
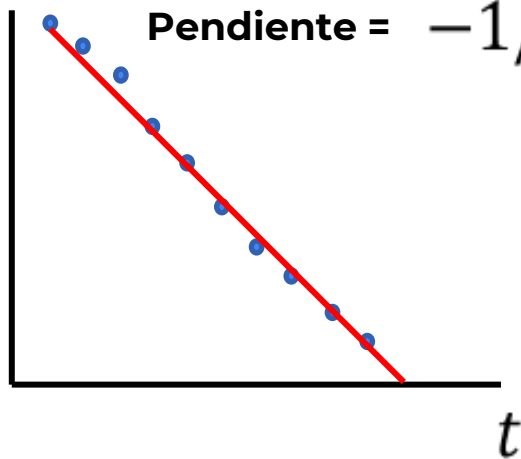
## Metodología: Tasa de intercambio

La **tasa de intercambio** se determinó midiendo la tasa de decaimiento de **CO<sub>2</sub>** en ausencia de fuentes



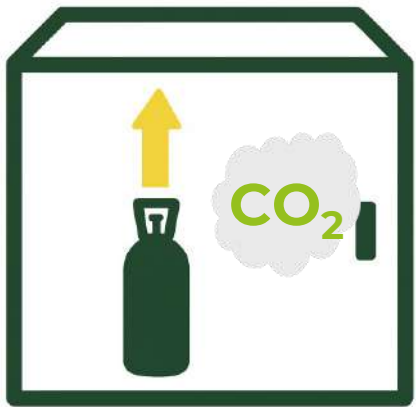
$$\ln \left( \frac{C_s(t) - C_b}{C_0 - C_b} \right)$$

Pendiente =  $-1/\tau$



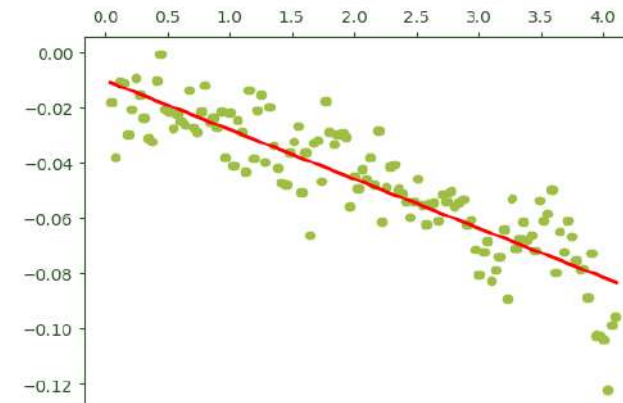
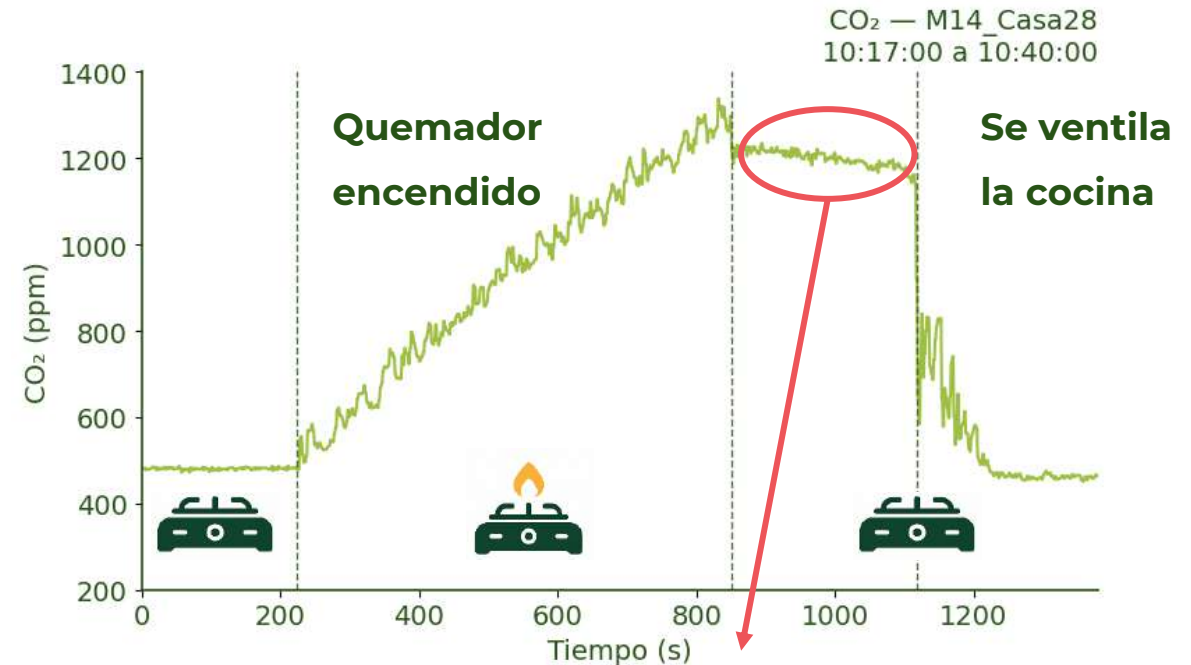
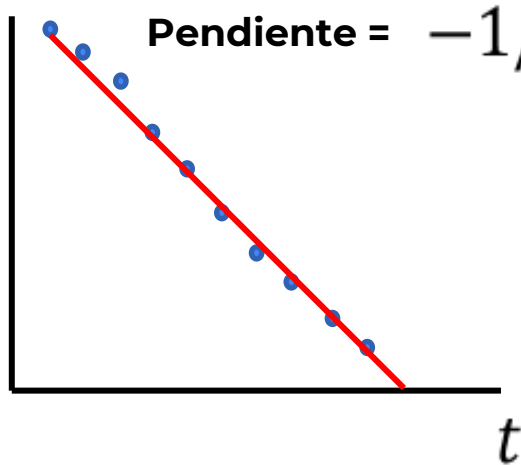
## Metodología: Tasa de intercambio

La **tasa de intercambio** se determinó midiendo la tasa de decaimiento de **CO<sub>2</sub>** en ausencia de fuentes



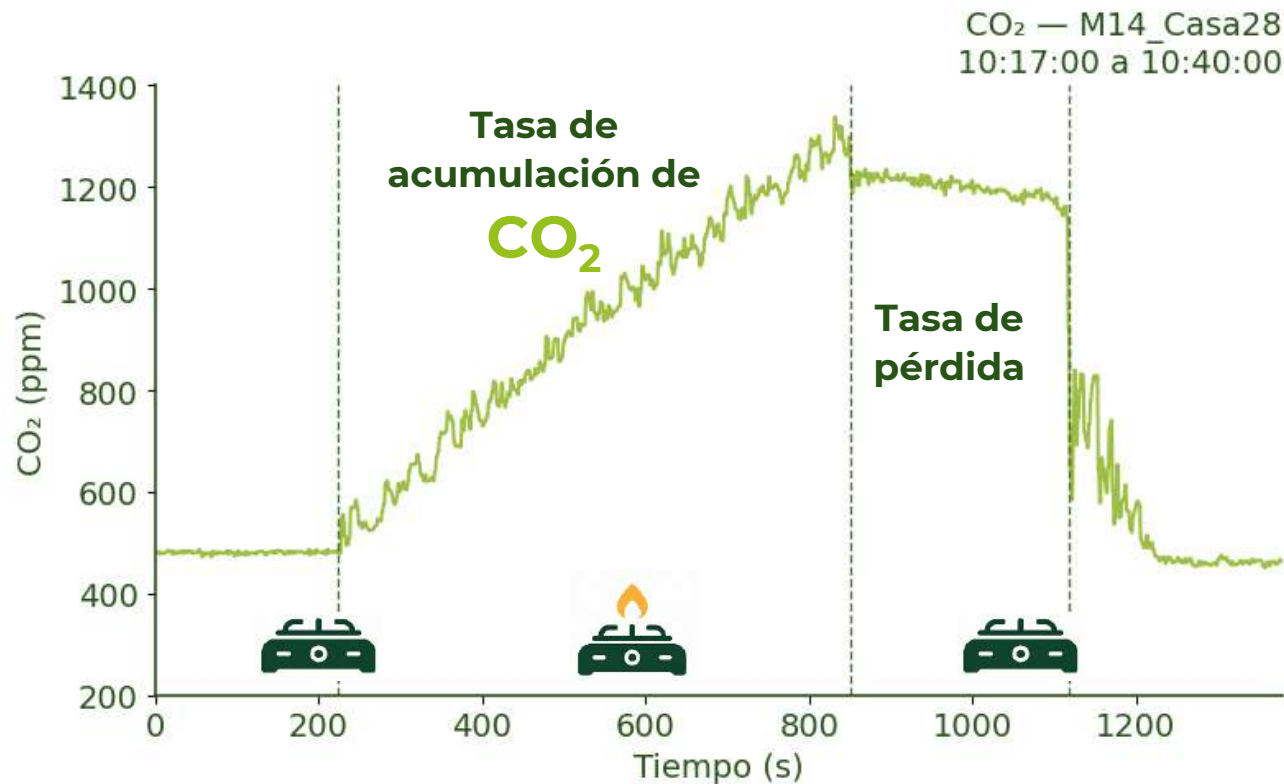
$$\ln \left( \frac{C_s(t) - C_b}{C_0 - C_b} \right)$$

Pendiente =  $-1/\tau$



1.1 intercambios por hora

## Metodología: Tasa de intercambio



- ▶ Determinar de forma precisa la **tasa de acumulación**
- ▶ Determinar de forma precisa la **tasa de intercambio de aire**
- ▶ Usar estos dos factores para **determinar la tasa de emisión** del gas bajo estudio (mg/h)
- ▶ Al medir las principales especies de carbono (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>) podemos calcular **factores de emisión por unidad de gas natural usado**

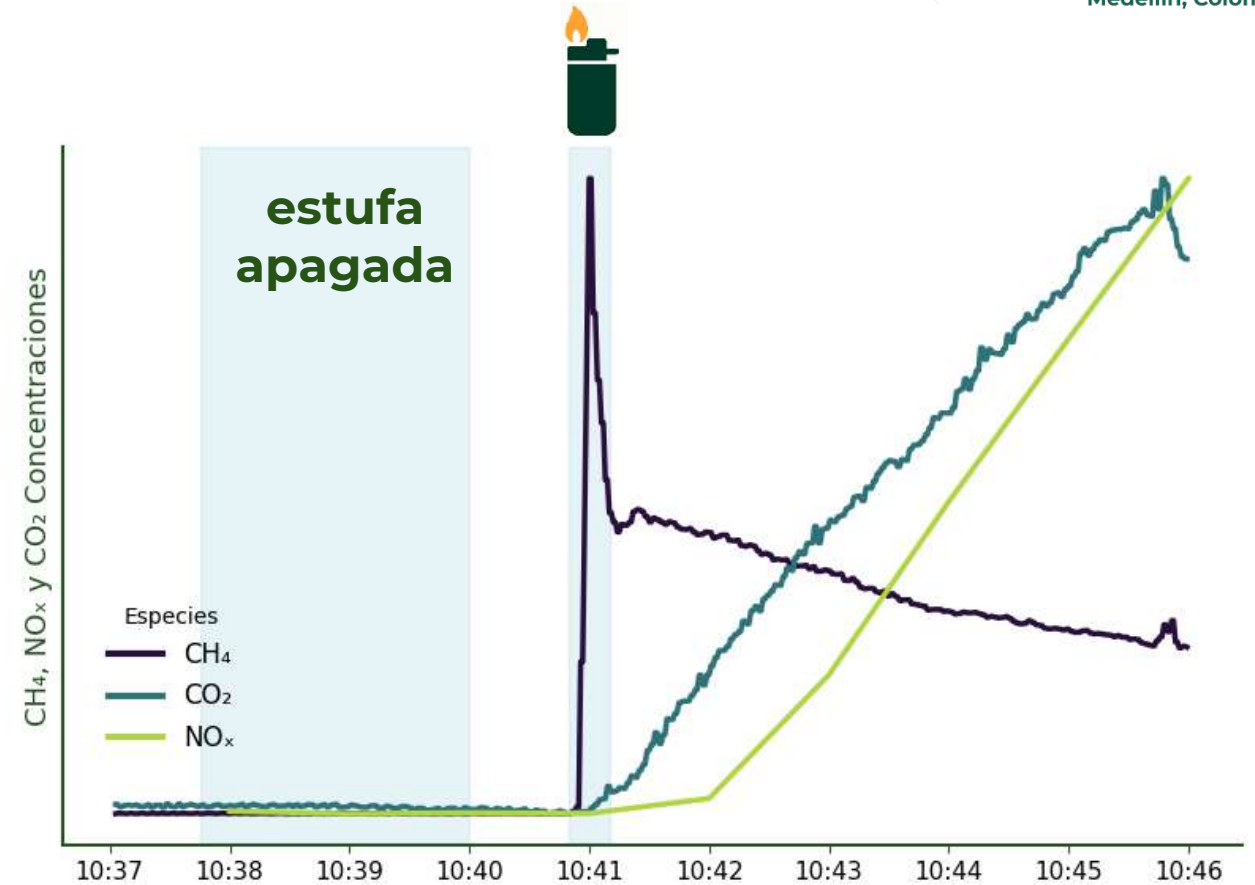
## Resultados: Observaciones

- ▶ En total de 56 quemadores en **23 viviendas**
- ▶ Se midieron entre **2 y 3 quemadores** por vivienda
- ▶ Se registró el **tamaño** de cada **quemador** y el nivel de **intensidad** utilizado en la medición



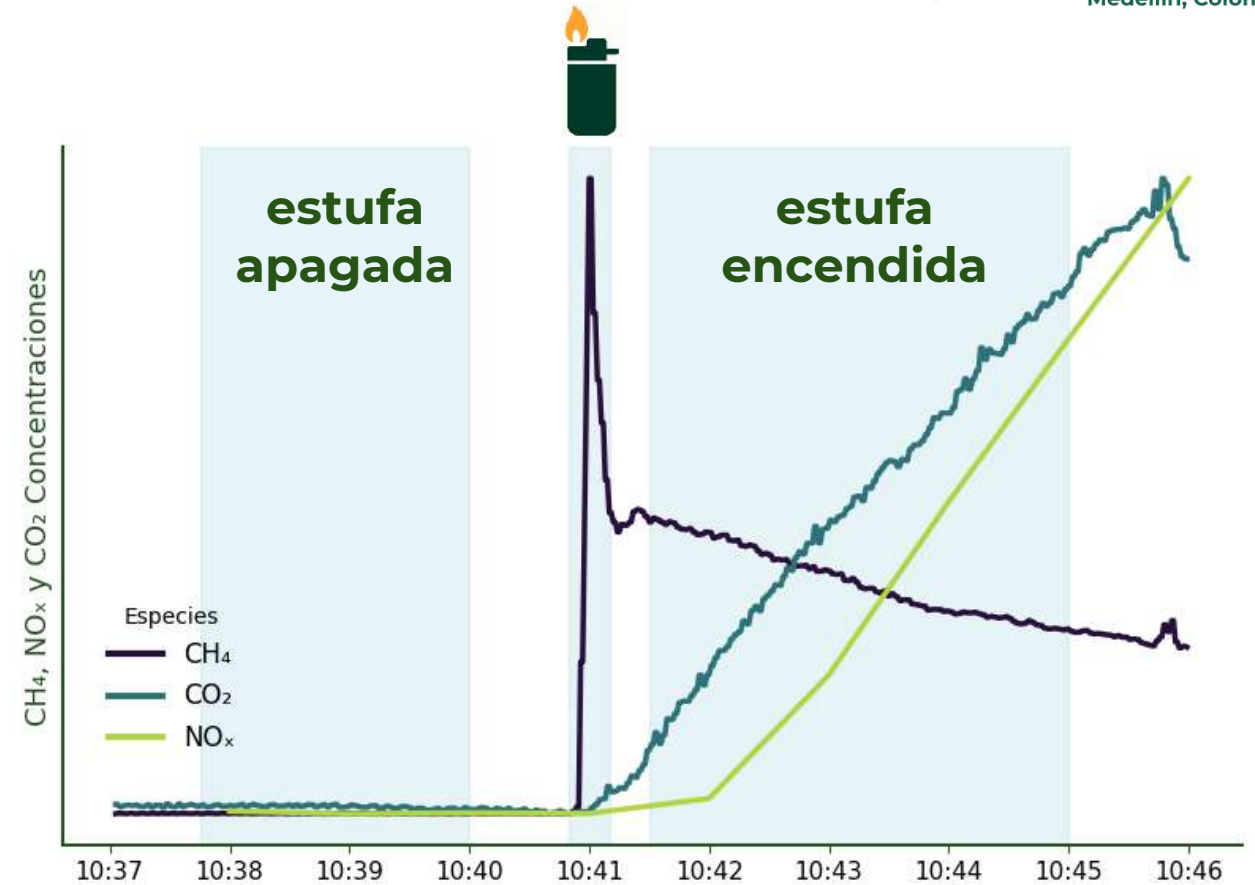
## Resultados: Observaciones

- ▶ En total de 56 quemadores en **23 viviendas**
- ▶ Se midieron entre **2 y 3 quemadores** por vivienda
- ▶ Se registró el **tamaño** de cada **quemador** y el nivel de **intensidad** utilizado en la medición



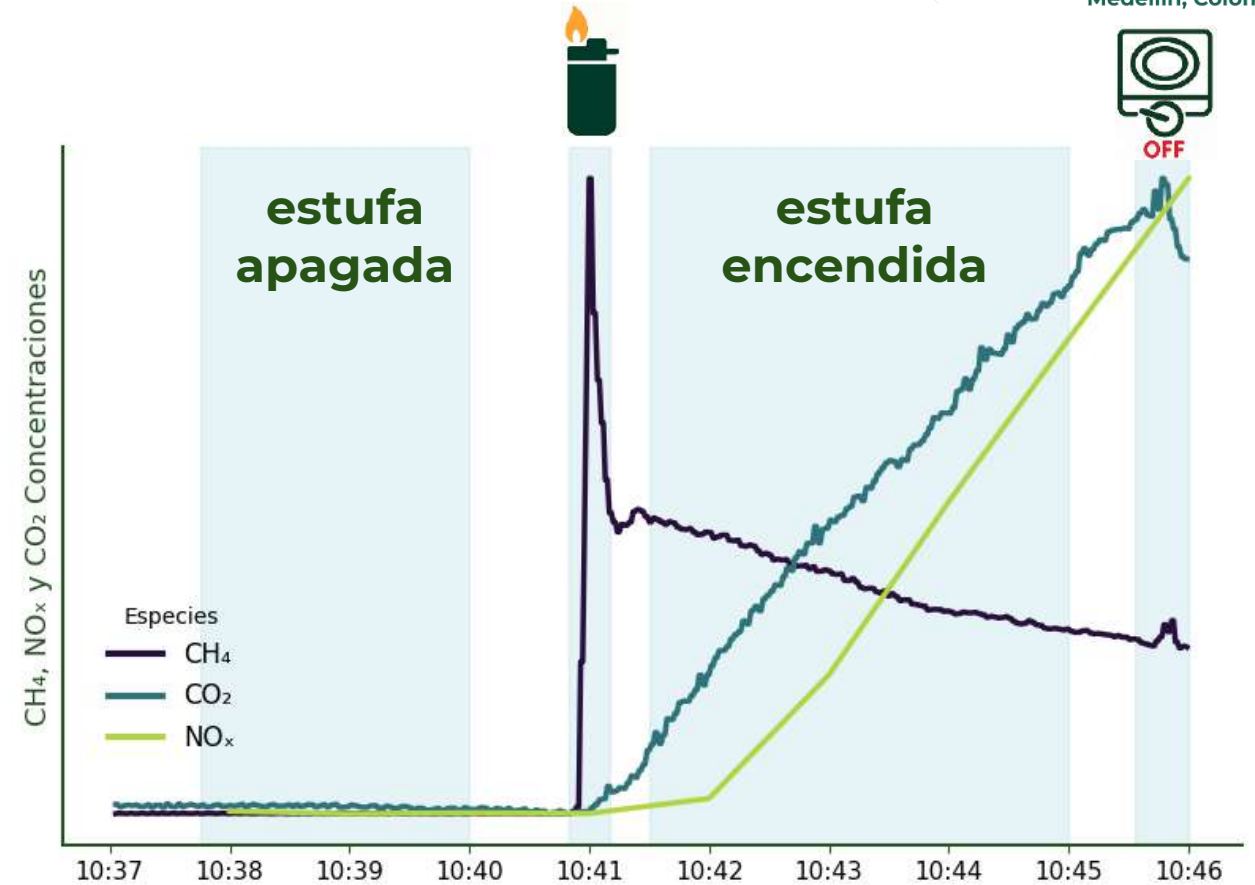
## Resultados: Observaciones

- ▶ En total de 56 quemadores en **23 viviendas**
- ▶ Se midieron entre **2 y 3 quemadores** por vivienda
- ▶ Se registró el **tamaño** de cada **quemador** y el nivel de **intensidad** utilizado en la medición

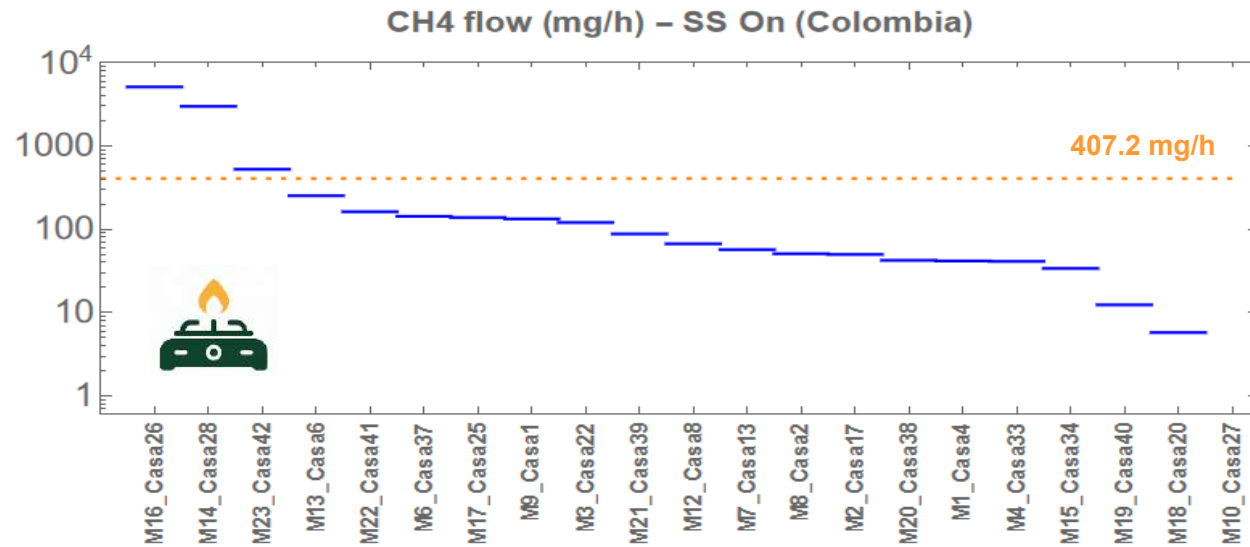


## Resultados: Observaciones

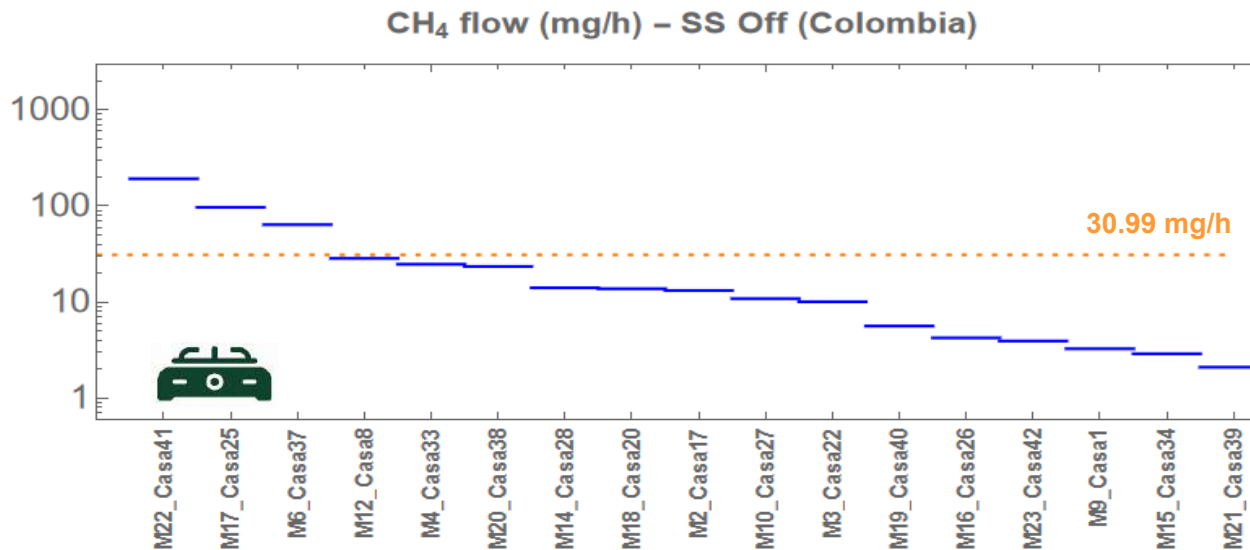
- ▶ En total de 56 quemadores en **23 viviendas**
- ▶ Se midieron entre **2 y 3 quemadores** por vivienda
- ▶ Se registró el **tamaño** de cada **quemador** y el nivel de **intensidad** utilizado en la medición



## Resultados: Emisión de Metano

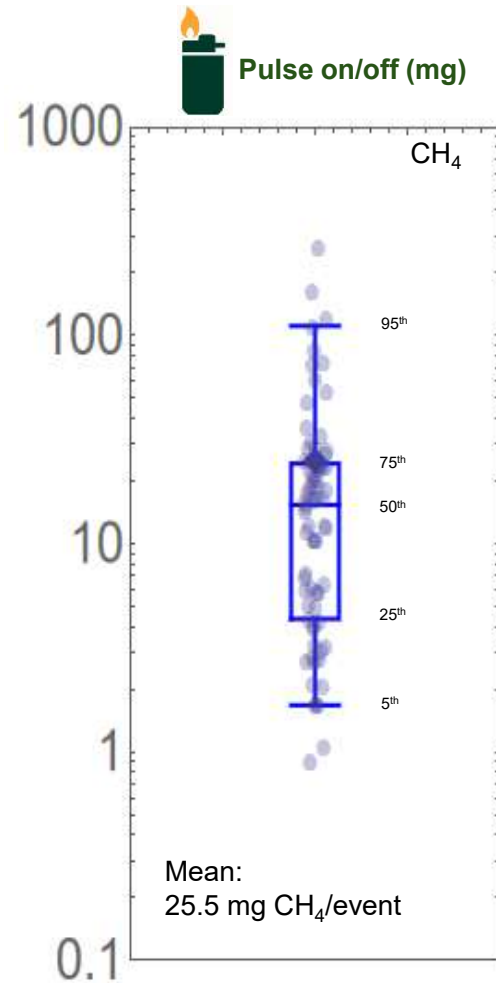


- Las emisiones con los **quemadores encendidos** fueron **significativamente más altas** que los factores típicos utilizados (e.g., UPME, IPCC).



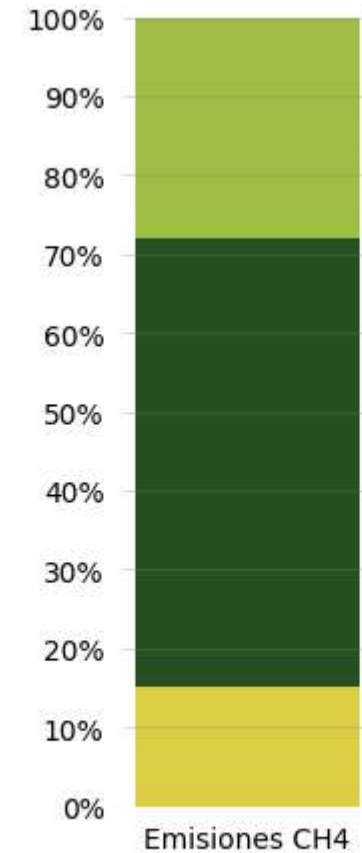
- Las emisiones con los quemadores apagados fueron, en promedio, un orden de magnitud inferiores a aquellas con quemadores encendidos **(¡pero ocurren continuamente!)**

## Resultados: Emisión de Metano (on/off)



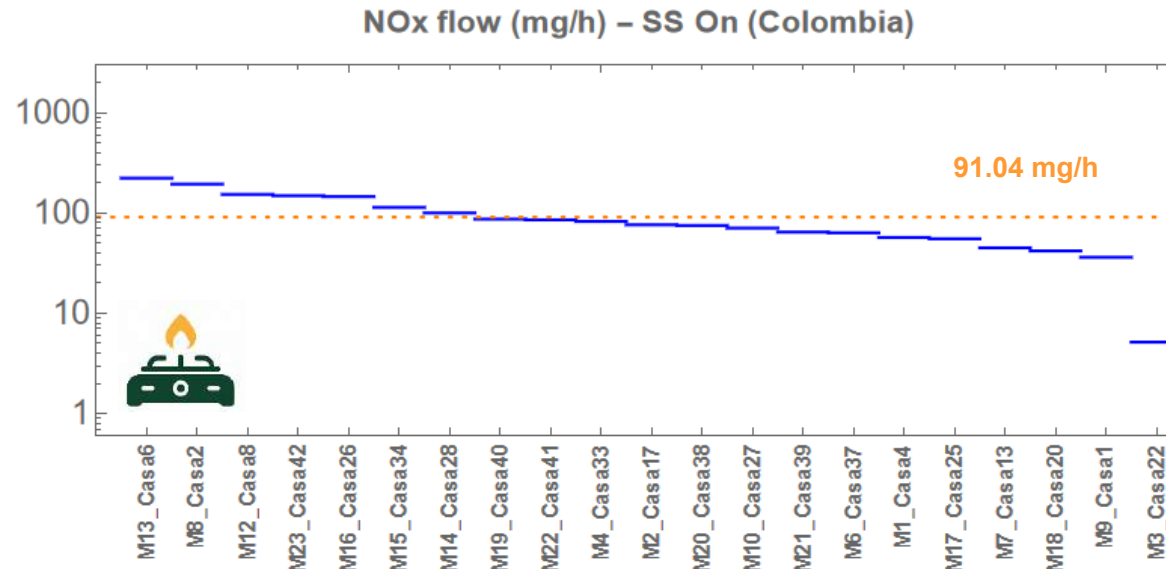
► En cada encendido o apagado de un quemador, se liberan en promedio **25 mg de metano**.

► Estas emisiones esporádicas son equivalentes a las fugas durante una hora, o a las emisiones durante 10 minutos de operación.



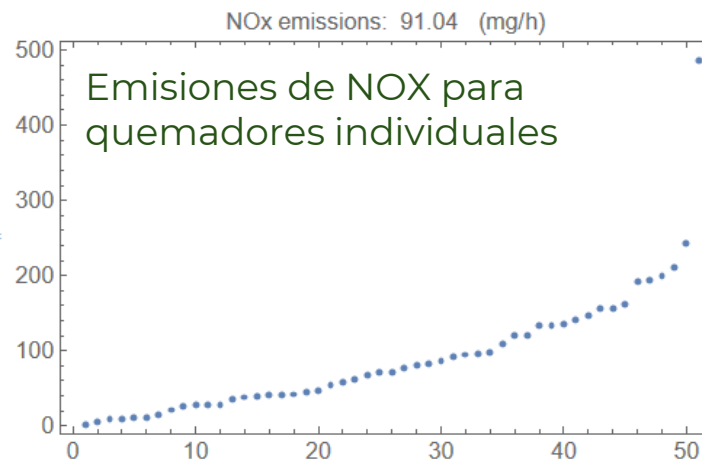
Encendido Fugas Combustión

## Resultados: Emisión de NOx



► Las emisiones de NOx observadas se **correlacionan con la intensidad de la llama:**

- 30.66 mg/h (baja)
- 74.07 mg/h (media)
- 139.0 mg/h (alta)

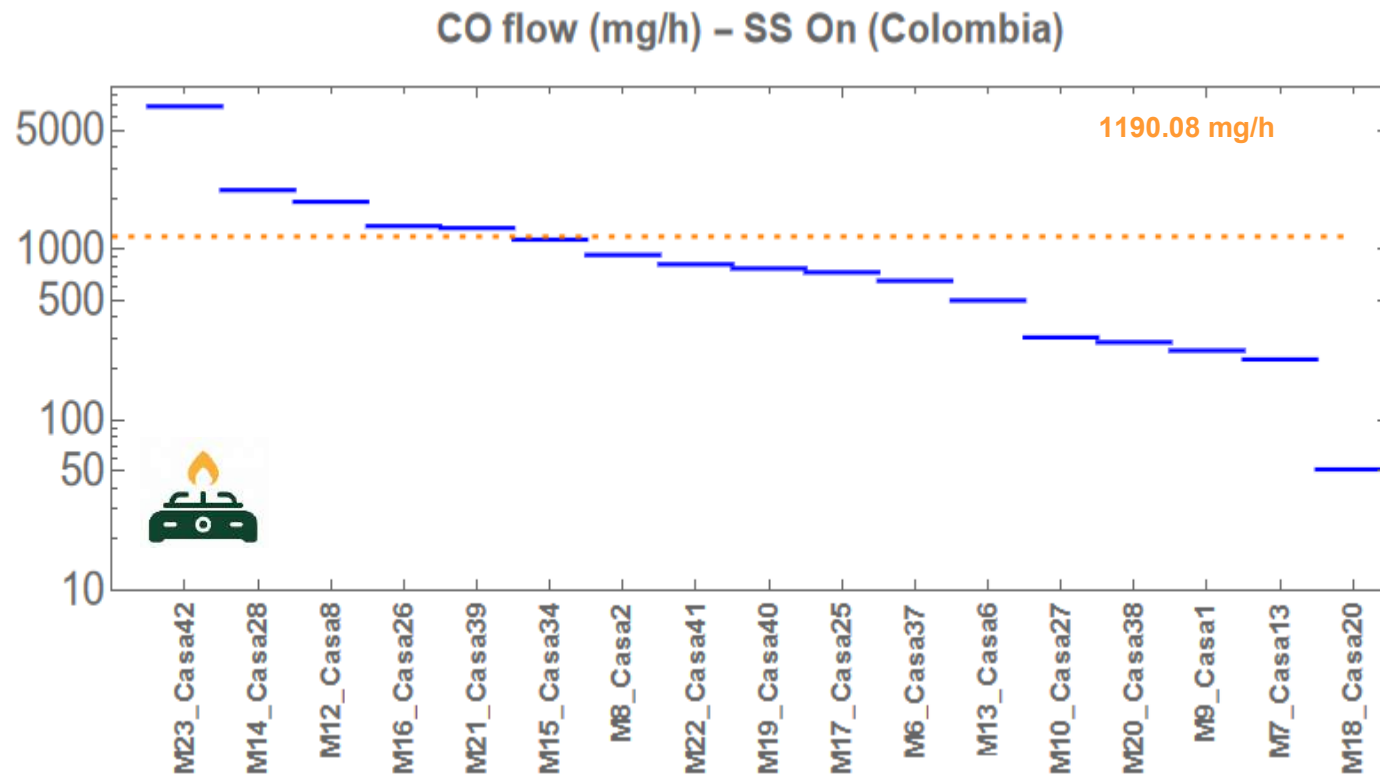


► Las tasas de emisión en Bogotá se encuentran en el rango inferior de las reportadas en la literatura.

Esta tasa de emisión es equivalente a

$$EF_{NOx} = 19.10 \frac{kg}{Tj}$$

## Resultados: Emisión de CO



- ▶ Típicamente, **una fracción baja** (<1%) del carbono del combustible es emitido como CO
- ▶ La tasa observada de emisión de CO en este estudio es aproximadamente el **0.46%** de la tasa de emisión de CO<sub>2</sub>
- ▶ Para este gas tóxico, la tasa de emisión derivada de este estudio es un factor de **10 mayor que el utilizado en el inventario** de emisiones de la ciudad de Bogotá.

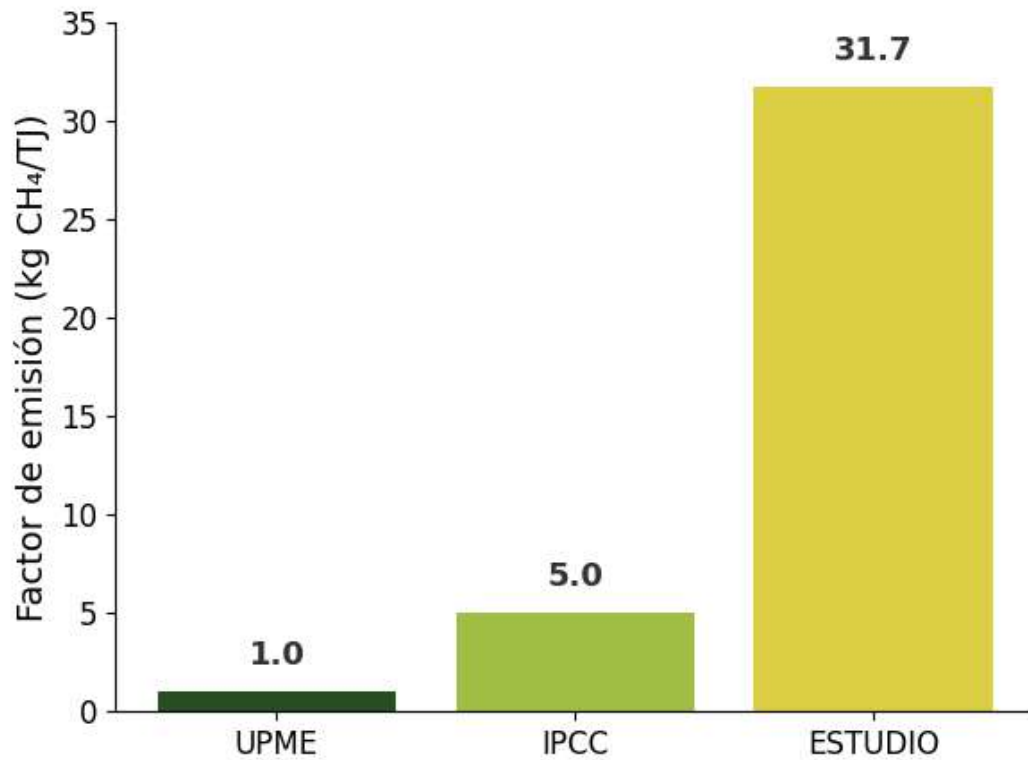
## Resultados consolidados y conclusiones

| GAS             | Tasa de Emisión | Factor de emisión             |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| CH <sub>4</sub> | 105.00 (mg/h)** | 31.75 (kgCH <sub>4</sub> /TJ) |
| CO <sub>2</sub> | 258.70 (g/h)    | 56.85 (tCO <sub>2</sub> /TJ)  |
| CO              | 1190.08 (mg/h)  | 213.3 (gCO/GJ)                |
| NO <sub>x</sub> | 91.04 (mg/h)    | 19.10 (gNO <sub>x</sub> /GJ)  |

- ▶ Este estudio representa la **primera medición directa** de las tasas de emisión de contaminantes como NO<sub>x</sub>, CO y CH<sub>4</sub> en cocinas residenciales que utilizan gas natural en Colombia.
- ▶ Los resultados sugieren que **las tasas de emisión de metano** en el sector residencial podrían estar **significativamente subestimadas** en los inventarios nacionales, ya que el factor de emisión obtenido en este análisis es considerablemente mayor que los valores de referencia utilizados por la IPCC y la UPME

## Resultados consolidados y brechas críticas

El **factor de emisión** de metano:

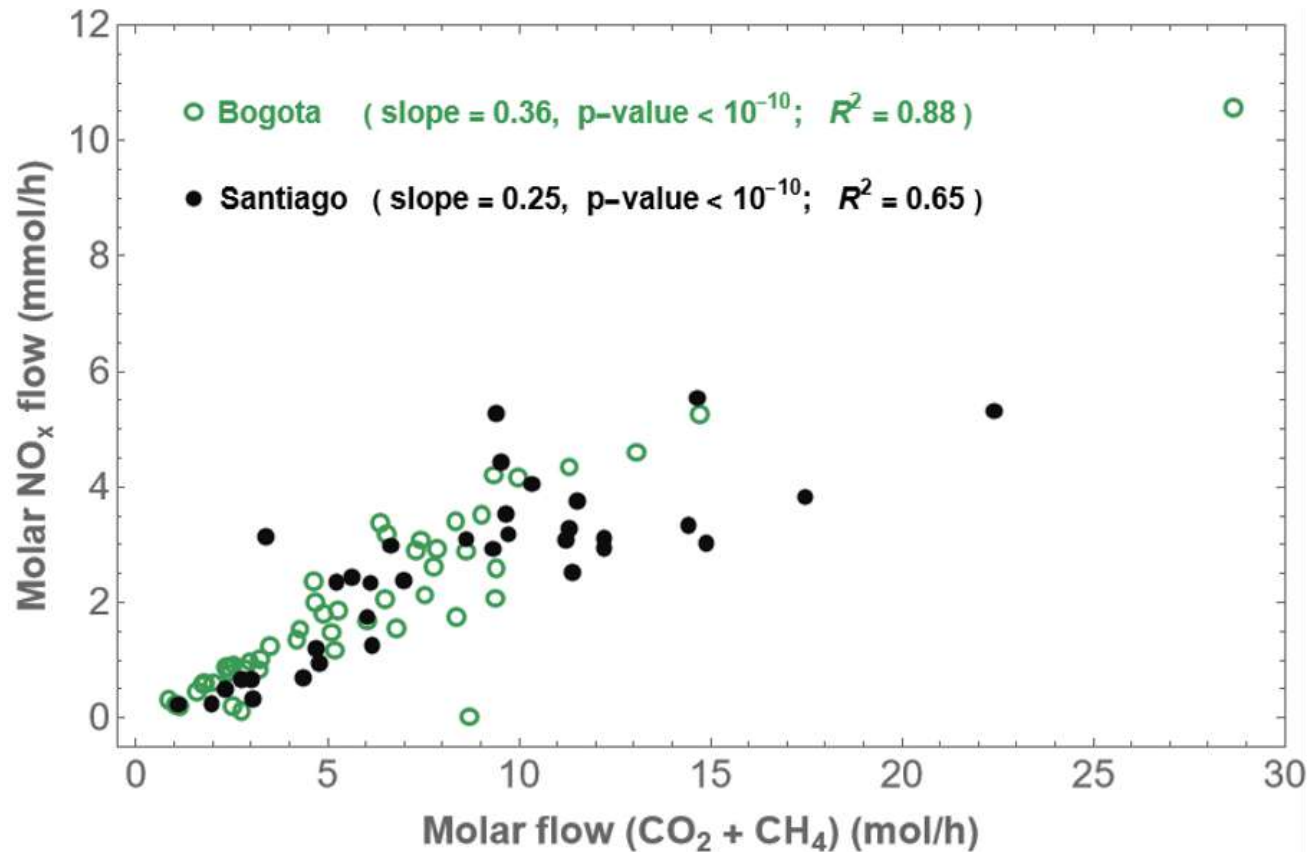


- ▶ Las mediciones del estudio indican un factor de emisión mucho más alto de **31.7** kg CH<sub>4</sub>/TJ, lo que sugiere que las emisiones residenciales de metano están subestimadas en los inventarios nacionales.
- ▶ Ampliar el esfuerzo de muestreo a varias ciudades de Colombia (Bogotá, Medellín, Cali, zonas rurales) para obtener factores de emisión locales más realistas.
- ▶ Estudiar las concentraciones de CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> en interiores mediante monitores personales o cámaras de habitación, para evaluar la exposición real de los ocupantes.

## Resultados consolidados y conclusiones



Los resultados experimentales obtenidos en Chile y Colombia son consistentes:



- ▶ Los factores de emisión inferidos para el gas natural usado en Santiago, y aquel usado en Bogotá, fueron prácticamente idénticas.
- ▶ De la misma forma, la tasa de emisión de  $\text{NO}_x$  en Santiago y en Bogotá derivada de las observaciones son comparables.





Alejandra Montejo  
[ta.montejo@uniandes.edu.co](mailto:ta.montejo@uniandes.edu.co)



Ricardo Morales  
[r.moralesb@uniandes.edu.co](mailto:r.moralesb@uniandes.edu.co)