

ESTIMACIÓN DE PERFIL DE CONCENTRACIÓN DE PM_{2.5}
BASADO EN UN BALANCE de MASA DURANTE LA COCCIÓN DE ALIMENTOS EN
UN HOGAR DE GUAYAQUIL, ECUADOR

PROBLEMA

Cerca del 48% de las muertes anuales a nivel mundial están vinculadas a la contaminación del aire de interiores, en el que se consideran las emisiones de PM_{2.5} por cocción de alimentos (material particulado $\leq 2.5\mu\text{m}$). Estudios epidemiológicos relacionan el PM_{2.5} con mortalidad y enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Las emisiones durante la cocción de alimentos están influenciadas por el método de cocción, el tipo de alimento y de aceite, los mecanismos de ventilación de la cocina, entre otros. En las cocinas de las viviendas de Guayaquil se observa comúnmente ausencia de ventilación natural y de ventilación mecánica, lo que contribuye a desmejorar la calidad del aire de interiores y aumenta el riesgo sobre la salud.

OBJETIVO GENERAL

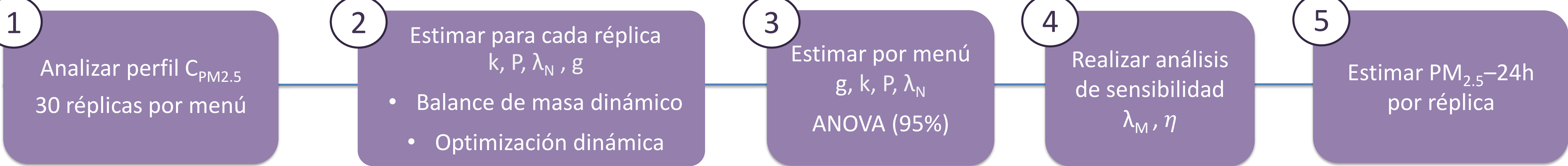
Estimar el perfil de concentración de PM_{2.5} emitido durante la cocción de alimentos por medio del ajuste de un modelo basado en el balance de masa dinámico a partir de datos experimentales y considerando diferentes escenarios de ventilación para la estimación del riesgo asociado a la salud.

METODOLOGÍA

Se estima el perfil de concentración de PM_{2.5}-24h durante la cocción de alimentos a partir de las emisiones muestreadas de PM_{2.5} de tres tipos de menú de comidas con frituras replicados treinta veces en una vivienda unifamiliar, de no fumadores y sin mascotas en Guayaquil, mediante un problema de optimización dinámica que involucra el balance de masa dinámico (Ec.1 y Ec.2). Para cada réplica se estima el valor de la tasa de emisión ($\text{g}-\text{mg}.\text{h}^{-1}$) del tipo de alimento cocinado, la tasa de deposición ($\text{k}-\text{h}^{-1}$), el coeficiente de penetración ($\text{P}-\text{adm}$) y la tasa de infiltración ($\lambda_{\text{N}}-\text{h}^{-1}$) de la cocina. Se verifica por medio de un análisis de varianza (ANOVA) la variabilidad de la media aritmética de los parámetros estimados con un nivel de confianza del 95%. Para la estimación de PM_{2.5}-24h se supone que se cocinan tres menús escogidos al azar cada 24h. Durante las tres cocciones se usa el perfil de concentración modelado y entre comidas se supone constante el último valor de concentración modelado. Por medio de un análisis de sensibilidad se evalúa el efecto de la tasa de ventilación mecánica ($\lambda_{\text{M}}-\text{h}^{-1}$) y la eficiencia de una campana de extracción ($\eta-\%$) sobre el perfil de concentración de PM_{2.5}-24h modelado. Se comparan las concentraciones de PM_{2.5}-24h con los umbrales propuestos por la Organización Mundial de la Salud.

$$\frac{dC}{dt} = \lambda_T PC_a + \frac{(1-\eta)g}{V} - (\lambda_T + k)C \quad \text{Ec.1}$$

$$\lambda_T = \lambda_N + \frac{\lambda_M}{2} \quad \text{Ec.2}$$



RESULTADOS

2 Perfil de concentración PM_{2.5} experimental y modelado para los tres menús

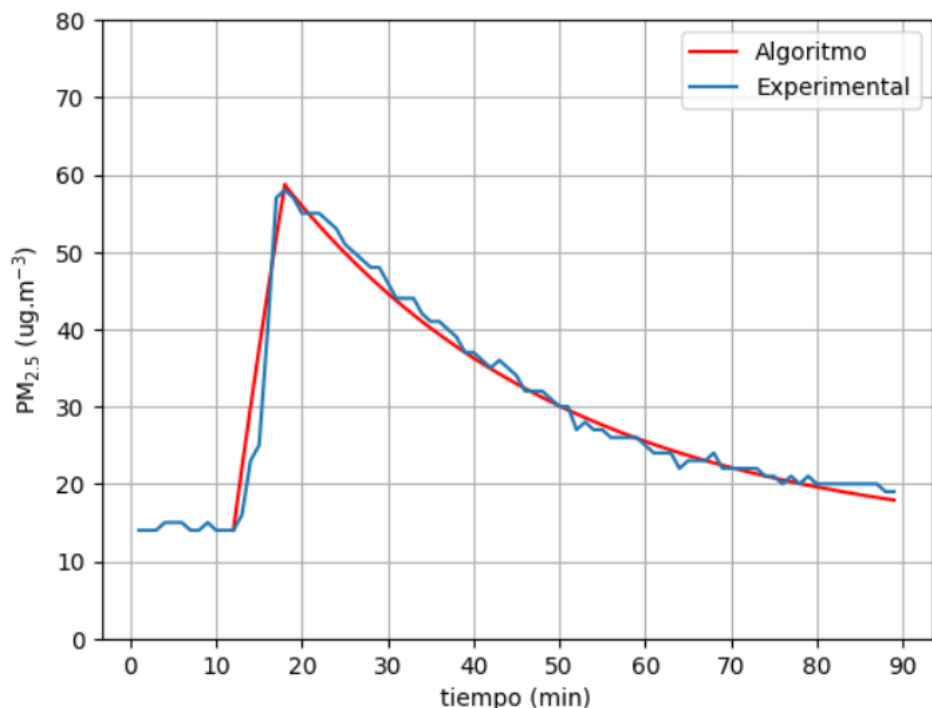


Figura 1. Perfil de concentración de réplica 04
menú-1

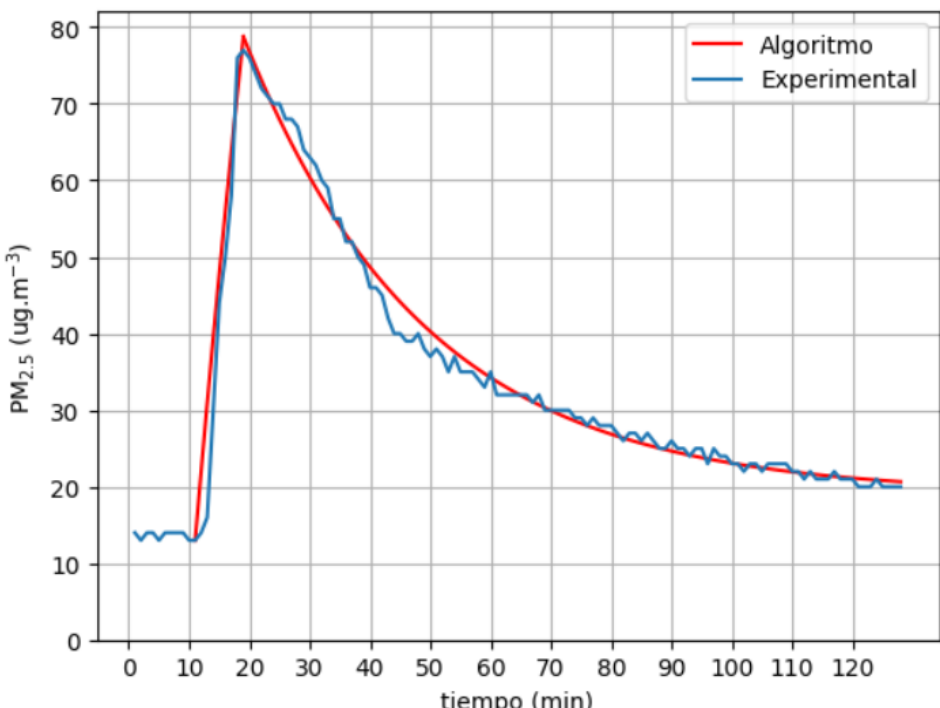


Figura 2. Perfil de concentración de réplica 04
menú-2

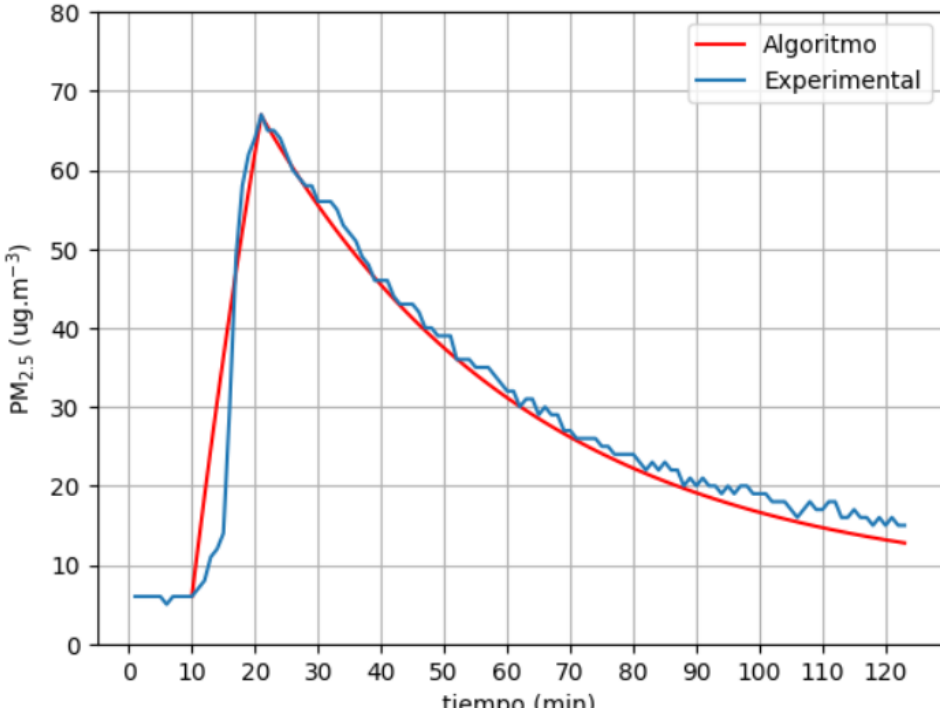


Figura 3. Perfil de concentración de réplica 18
menú-3

Error cuadrático
medio < 3% en todos
los ajustes

3 Análisis ANOVA

Tabla 2. Media y desviación estándar para k, λ_N, P de la vivienda

Parámetros	μ	σ
k (h ⁻¹)	0.466	0.281
λ _N (h ⁻¹)	2.109	1.473
P	0.575	0.217

Tabla 3. Media y desviación estándar de la tasa de emisión de PM_{2.5} por menú

Menú	μ	σ
Menú-1(mg.h ⁻¹)	18.53	15.84
Menú-2 (mg.h ⁻¹)	18.16	7.15
Menú-3(mg.h ⁻¹)	10.53	8.85

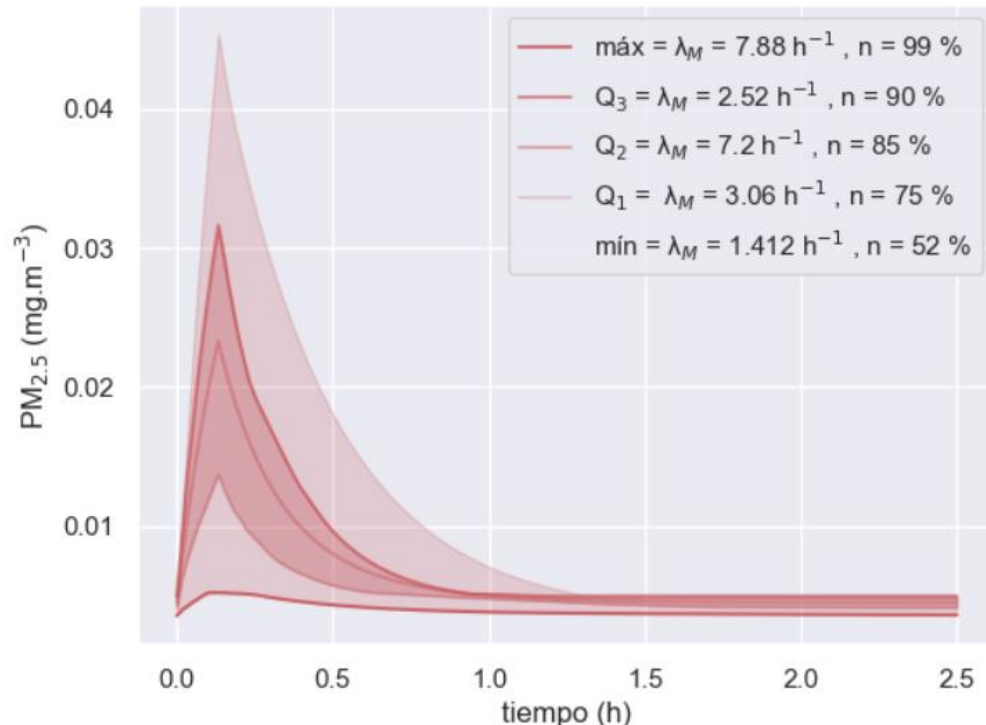


Figura 5. Perfil de concentración PM_{2.5}
del menú-1 con campana extractora

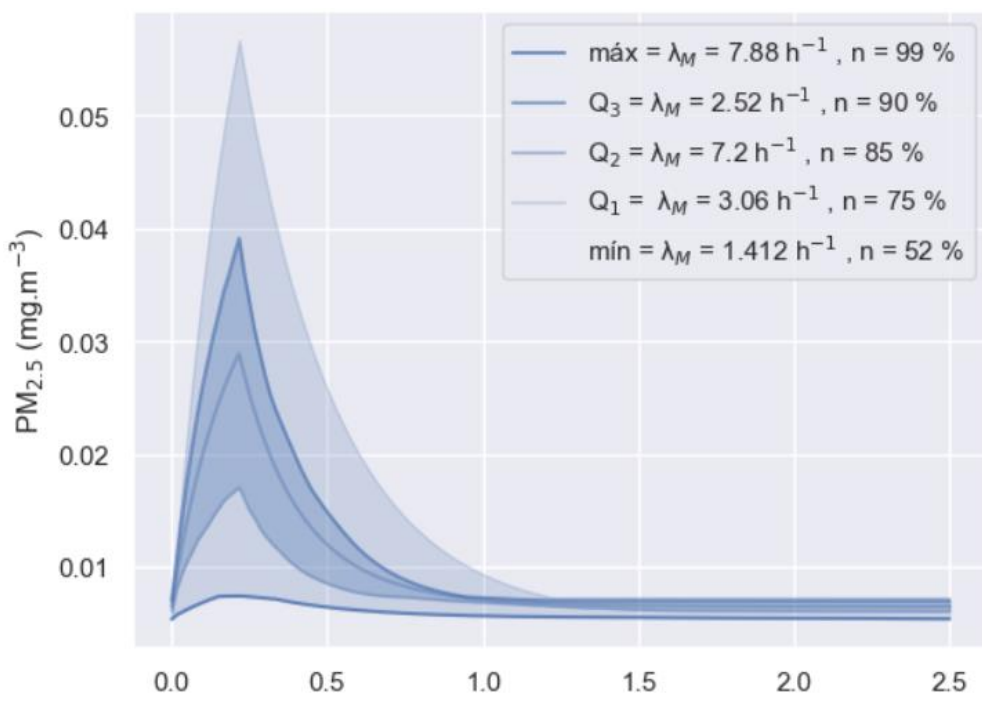


Figura 6. Perfil de concentración PM_{2.5}
del menú-2 con campana extractora

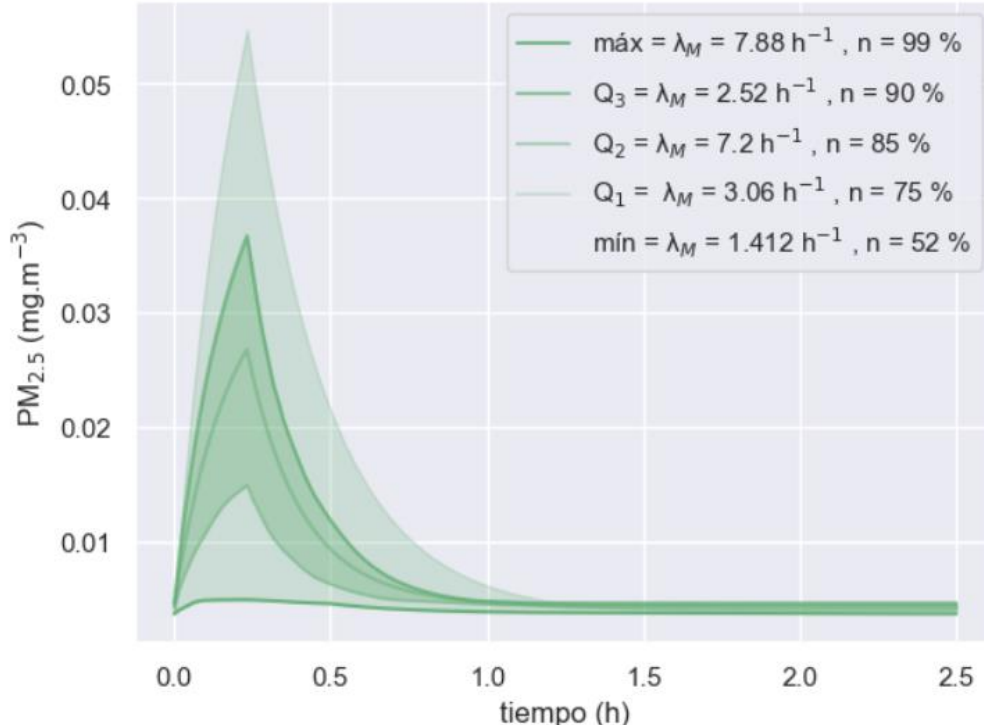


Figura 7. Perfil de concentración PM_{2.5}
del menú-3 con campana extractora

5 Estimación de PM_{2.5}-24h

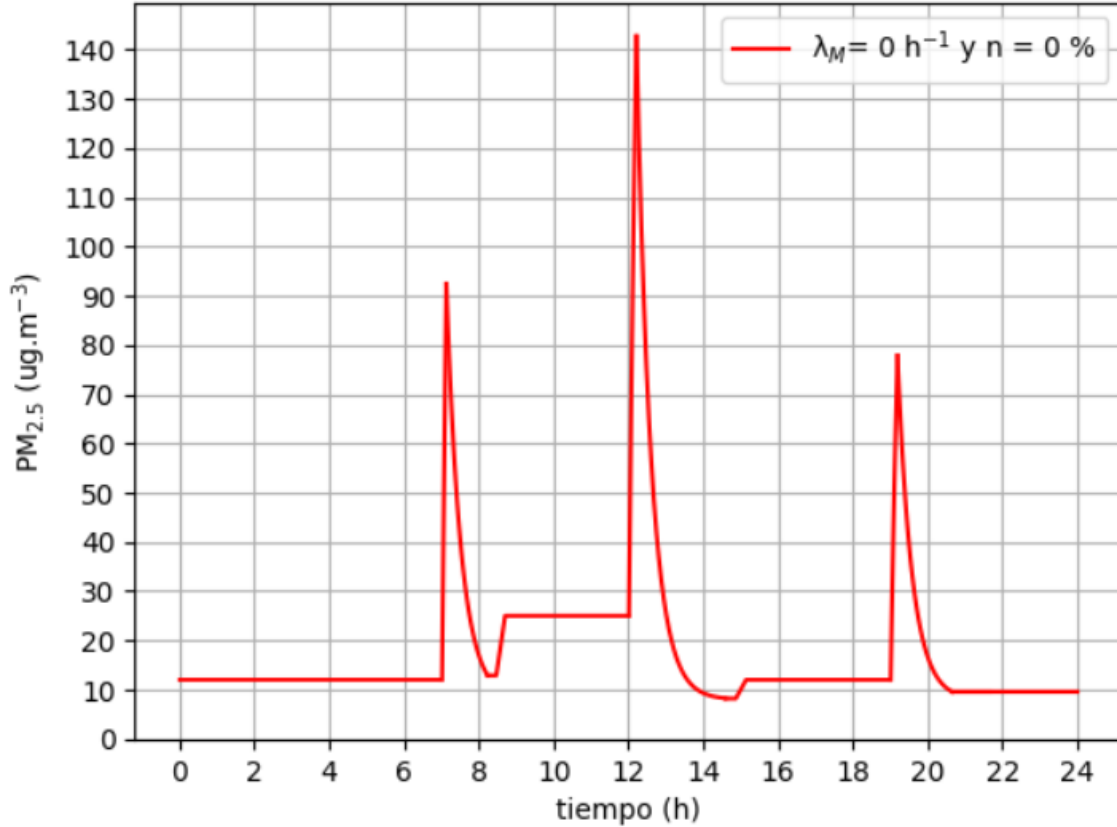


Figura 8. Perfil de PM_{2.5}-h solo con infiltración
para la réplica 1 para el menú-3

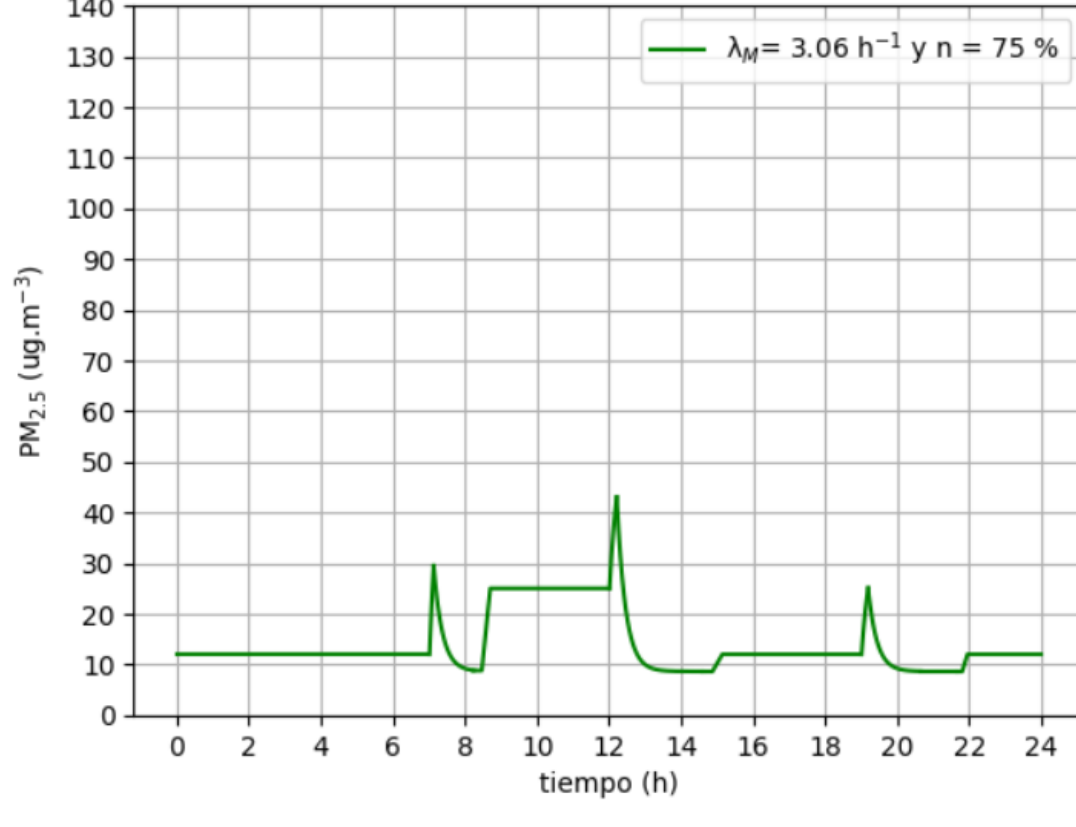


Figura 9. Perfil de PM_{2.5}-h con extracción
mecánica [λ_M = 3.6 h⁻¹ ; η = 75%] para la
réplica 1 menú-3

Tabla 4. PM_{2.5}-24 h con extracción
mecánica para la réplica 1

[λ _M - η]	PM _{2.5} -24 h (µg.m-3)
Solo infiltración	32.06
[1.4 h ⁻¹ - 52%]	18.29
[3.06 h ⁻¹ - 75%]	13.36
[2.52 h ⁻¹ - 90%]	11.27

Estándar OMS: PM_{2.5}-24h ≤ 15 µg.m⁻³

CONCLUSIONES

- La metodología propuesta para la estimación de las emisiones de PM_{2.5}-24h desde la cocción de tres tipos de menú de comidas con frituras resultó satisfactoria ya que la estimación de las tasas de emisión ($\text{g}-\text{mg}.\text{h}^{-1}$), tasa de deposición ($\text{k}-\text{h}^{-1}$), coeficiente de penetración ($\text{P}-\text{adm}$) y tasa de infiltración ($\lambda_{\text{N}}-\text{h}^{-1}$) tuvo un error cuadrático medio menor al 3% para las 30 réplicas de cada menú y el valor de cada parámetro no presenta variabilidad entre las réplicas con 95% de confianza.
- La metodología propuesta para estimar el efecto de la tasa de ventilación mecánica ($\lambda_{\text{M}}-\text{h}^{-1}$) y la eficiencia de una campana de extracción ($\eta-\%$) sobre el perfil de concentración de PM_{2.5}-24h modelado demuestra que con una eficiencia igual o mayor al 75% se obtienen valores de concentración de PM_{2.5}-24h por debajo del umbral propuesto por la Organización Mundial de la Salud en la última versión de la Directrices sobre Calidad del Aire.
- A nivel comercial existe una gama de sistemas de ventilación mecánicos que cumplen con la mínima eficiencia requerida para disminuir el riesgo a la salud por respirar PM_{2.5} de manera constante.
- Los resultados de esta investigación establecen pautas para futuras investigaciones que incorporen sistemas de ventilación mecánica en la parte experimental y corroboren los resultados obtenidos sobre la eficiencia de captura de las campanas y el riesgo a la salud.