

# Modelo de caja en dos etapas de la Calidad del Aire Interior para la Concientización Social SIMOCAI

Elizabeth Magaña Villegas, Rubí Espinoza Sánchez, José Antonio  
Martínez de Dios, Jesús Manuel Carrera Velueta



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



## INTRODUCCIÓN

TODOS QUEREMOS UNA VIDA TRANQUILA Y SERENA

CALIDAD DE VIDA



Existe desconocimiento de cómo las actividades realizadas cotidianamente en interiores generan PM que deterioran la calidad el aire interior y consecuentemente la salud de las personas.



## INTRODUCCIÓN

### CALIDAD DE VIDA

## PARTÍCULAS PM10 Y PM2.5:

**Polvo, hollín, humo y aerosol.**

Suspendidas en el aire y emitidas por vehículos diésel, la quema de residuos y cultivos, y las plantas generadoras de energía eléctrica a carbón, entre otras fuentes, estas partículas son un problema mundial de salud pública, incluso a niveles relativamente bajos.



### PM10



- Partículas de menos de 10 micrómetros de diámetro.
- Pueden inhalarse y acumularse en el sistema respiratorio.

### PM2.5



- Partículas de menos de 2.5 micrómetros de diámetro, llamadas "partículas finas".
- Suponen un mayor riesgo para la salud porque pueden alojarse profundamente en los pulmones.

## CONSECUENCIAS EN LA SALUD



INFECCIONES  
RESPIRATORIAS



ENFERMEDADES  
CARDIOVASCULARES



ACCIDENTES  
CEREBROVASCULARES



CÁNCER DE  
PULMÓN

## INTRODUCCIÓN

Existen muchos factores que alteran la calidad del aire al activar una fuente:



Concentración de  
fondo:  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$



CA "extremadamente  
mala" 51 minutos



Primer escenario

CA "muy mala"  
7 minutos



CA "mala"  
15 minutos



CA "aceptable"  
20 minutos

Fuente: Martínez J.A, Carrera J.M & Magaña E. (2025).

TIPO DE FUENTE

TIEMPO DE USO

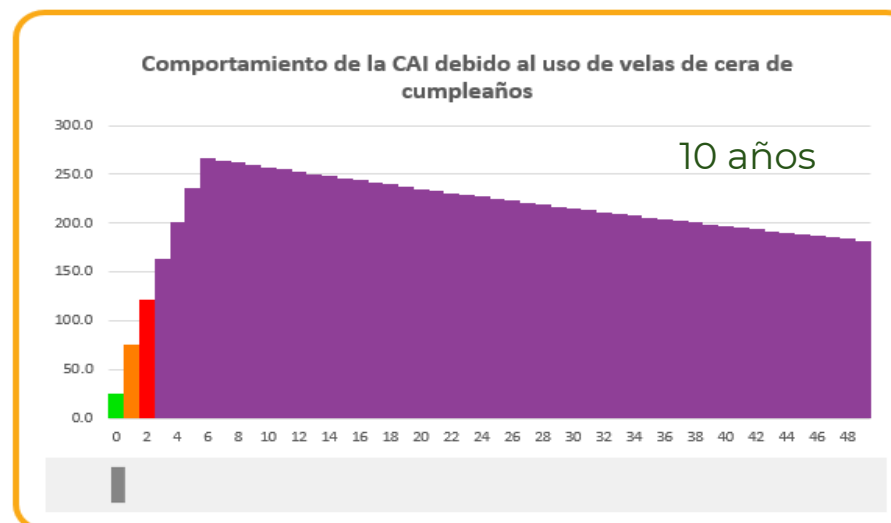
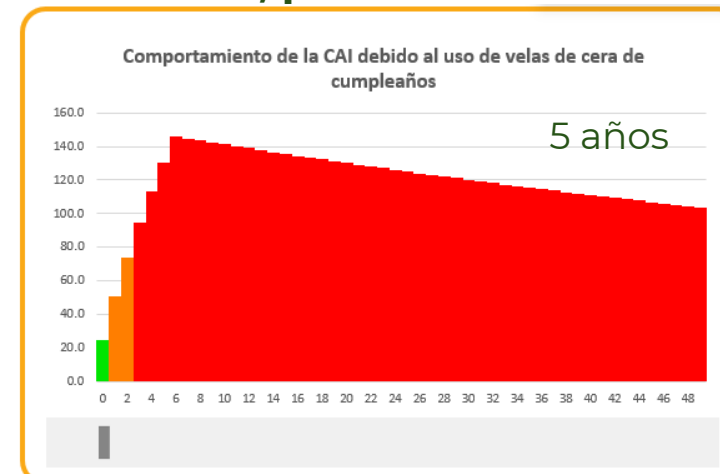
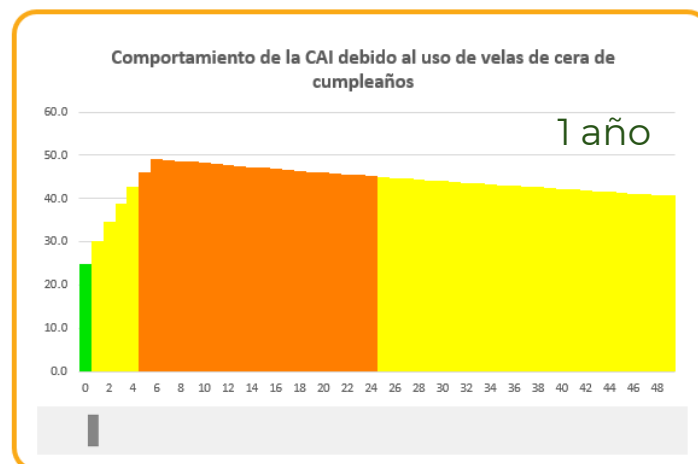
CÓMO SE USA

VENTILACIÓN

LUGAR DONDE SE USA

# INTRODUCCIÓN

Existen muchos factores que alteran la calidad del aire, pero al activar una fuente:



## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Muestreo**

(obtención  
parámetros del  
modelo)

- Construcción de la unidad de monitoreo
- PM<sub>2.5</sub> Antes, durante y después de activar la fuente
- De 3 a 5 muestreos por fuente (Abierto y cerrado)

### **Calibración del Modelo**

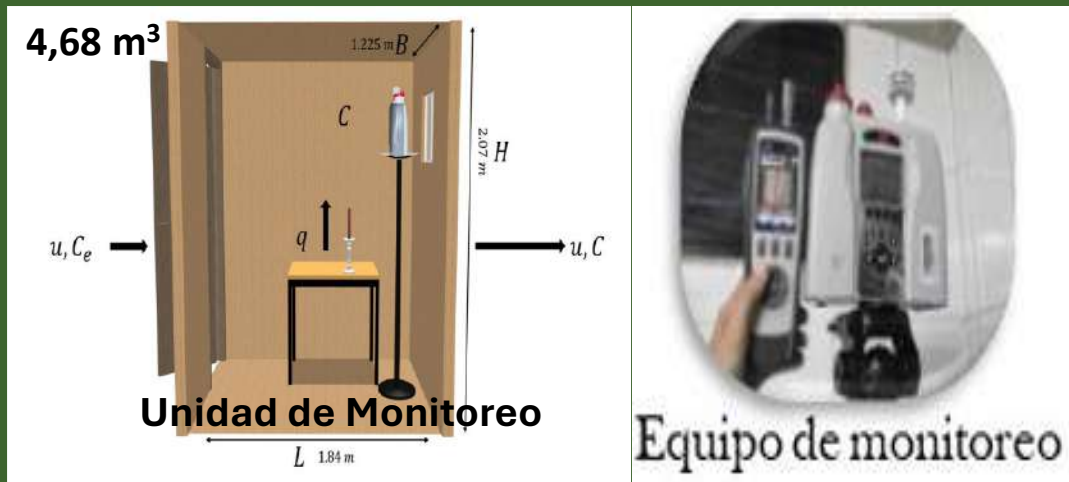
- Modelo de caja simple 2 etapas: emisión y deposición
- Se propusieron tasas de deposición constantes, exponenciales y logarítmicas.
- Calibración del modelo
- Se propone un factor adimensional empírico ( $\epsilon$ )

### **Simulación de la Calidad del aire**

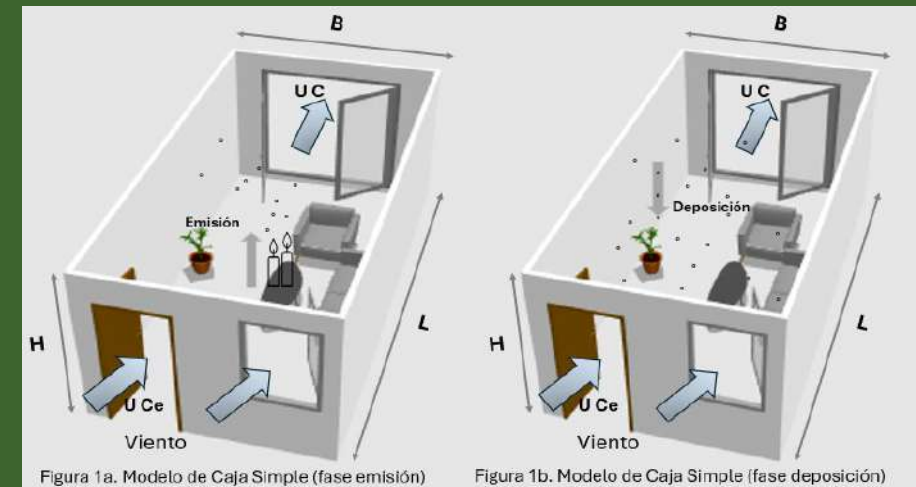
- NOM-172-SEMARNAT-2019 y 2023
- interfaz con Microsoft Excel
- WEB

## MATERIALES Y MÉTODO

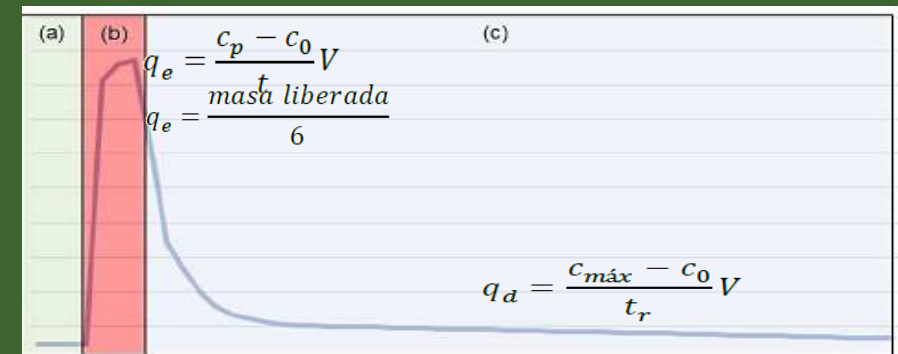
### Muestreo



### Obtención de Parámetros básicos del Modelo



*Acumulación = entradas-salidas+fuentes-sumideros*



**Modelo basado en balance de masa en dos etapas**

## MATERIALES Y MÉTODO

Tabla 2. Categorías del índice Aire y Salud (NOM-172-SEMARNAT-2019).

| Calidad del aire    | Nivel de riesgo asociado | Intervalo de PM <sub>2.5</sub> (µg/m³) | Intervalo de PM <sub>10</sub> (µg/m³) | Descripción del riesgo (con base en PM)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Buena               | Bajo                     | 25                                     | 50                                    | Se considera que el riesgo es mínimo o nulo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Aceptable           | Moderado                 | >25 y 45                               | >50 y 75                              | Posible agravamiento de enfermedad pulmonar y cardíaca en personas con enfermedad cardiopulmonar y adultos mayores.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Mala                | Alto                     | >45 y 79                               | >75 y 155                             | Probabilidad de disminución en la capacidad pulmonar de personas sanas. Incremento en la probabilidad de aparición de síntomas respiratorios en personas sensibles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                     |                          |                                        |                                       | En personas con enfermedades respiratorias y cardíacas, hay aumento en la probabilidad de agravamiento y disminución en la tolerancia de la actividad física, así como mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar.                                                                                                                                                                                                                        |
| Muy Mala            | Muy Alto                 | >79 y 147                              | >155 y 235                            | Mayor probabilidad de presencia de síntomas respiratorios en población general. Agravamiento de síntomas respiratorios en poblaciones sensibles. Incremento en síntomas cardiovasculares, como dolor precordial, en personas enfermas del corazón, así como mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar.                                                                                                                                   |
| Extremadamente Mala | Extremadamente Alto      | >147                                   | >235                                  | Incremento en la probabilidad de síntomas severos respiratorios en población general. Serios efectos respiratorios y agravamiento de síntomas en personas sensibles (niños, adultos mayores, persona con deficiencias nutricionales) y en personas con enfermedad pulmonar (asma y EPOC). Agravamiento de síntomas cardiovasculares en enfermos del corazón (como angina de pecho) e incremento en la probabilidad de muerte prematura en personas con enfermedad pulmonar y cardíaca. |

Adaptado de “Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud”, en NOM-172-SEMARNAT-2019.



## MATERIALES Y MÉTODO



## ■ RESULTADOS

### Tasas y Factores de emisión

| Fuente                              | $\mu\text{g} / \text{min}$ | $\mu\text{g} / \text{unidad}$ |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Velas (tipo bengala)                | NA                         | $12,624 \pm 2,086$            |
| Velas de cumpleaños                 | $579 \pm 145$              | NA                            |
| Ahuyentador de mosquitos en espiral | $774 \pm 130$              | NA                            |
| Incienso "mandarina"                | $55.5 \pm 14$              | $2,594 \pm 514$               |
| Incienso "lavanda"                  | $31 \pm 8$                 | $1,485 \pm 259$               |
| Difusor de aceites esenciales       | $120 \pm 7$                | NA                            |

Lee & Wang  
(2006)

See &  
Balasubramanian  
(2011)

Fuente: Martínez J.A, Carrera J.M & Magaña E. (2025).

Para las velas tipo bengala, se estimó la emisión por minuto: **3875.30  $\mu\text{g}/\text{min}$**

Ongwandee & Pipithakul (2010) No hubo coincidencia ni para ahuyentador de mosquito, ni incienso

## RESULTADOS

### Modelo basado en balance de masa en dos etapas

#### PROPUESTA ORIGINAL

$$C(t) = \delta(t) \left[ C_0 e^{-\frac{\alpha_s ut}{L}} + \left( \frac{\alpha_e}{\alpha_s} C_e + \frac{q_e}{\alpha_s uBH} \right) \left( 1 - e^{-\frac{\alpha_s ut}{L}} \right) \right] + (1 - \delta(t)) \left[ C(t_a) e^{-\frac{\alpha_s ut}{L}} + C_0 \left( 1 - e^{-\frac{\alpha_s ut}{L}} \right) \right]$$

$$\delta(t) \begin{cases} 1 & t \leq t_a \text{ (fuente activa)} \\ 0 & t > t_a \text{ (fuente desactivada)} \end{cases}$$

#### PROPUESTA DESPUÉS DE LA CALIBRACIÓN

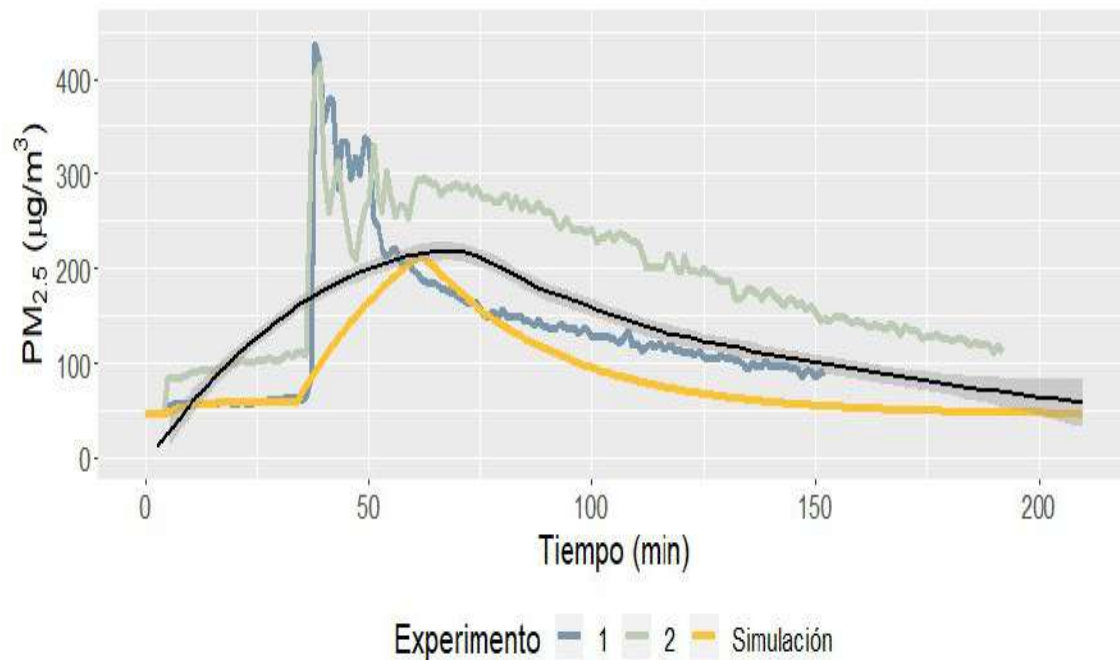
$$C(t) = \delta(t) \left[ C_0 e^{-\frac{\alpha_s ut}{L}} + \left( \frac{\alpha_e}{\alpha_s} C_e + \frac{q_e}{\alpha_s uBH} \right) \left( 1 - e^{-\frac{\alpha_s ut}{L}} \right) \right] + (1 - \delta(t)) \left[ C(t_a) e^{-\frac{\alpha_s ut}{\epsilon L}} + C_0 \left( 1 - e^{-\frac{\alpha_s ut}{\epsilon L}} \right) \right]$$

$$C(t) = \delta(t) \left[ C_0 e^{-\frac{ut}{\epsilon L}} + \left( C_e + \frac{q_e}{uBH} \right) \left( 1 - e^{-\frac{ut}{\epsilon L}} \right) \right] + (1 - \delta(t)) \left[ C(t_a) e^{-\frac{ut}{\epsilon L}} + C_0 \left( 1 - e^{-\frac{ut}{\epsilon L}} \right) \right]$$

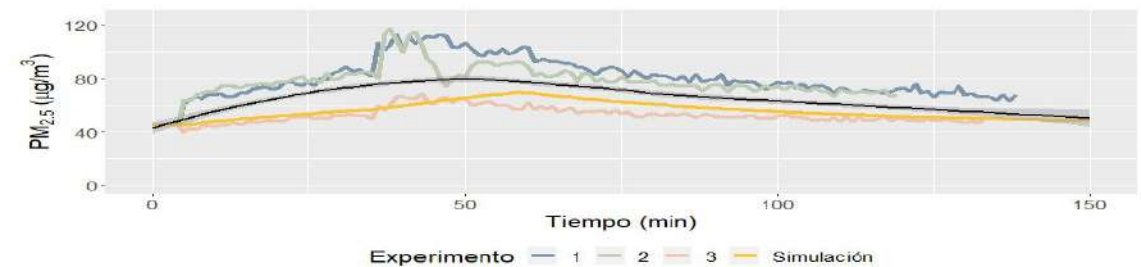
**DIFUSOR DE AROMAS**

## RESULTADOS

### RESPECTO A LAS VELAS Y LA FORMA DE APAGARLAS



El uso de un trapo húmedo evita la generación de 54 % de  $PM_{2.5}$  al apagarse en comparación al apagar la vela soplando



Guo *et al.* (2000)

## **RESULTADOS**

**Se propusieron tasas de deposición constantes, exponenciales y logarítmicas sin éxito.**

**El factor  $\varepsilon$  adicionado al modelo permitió un buen ajuste en la etapa de deposición. El valor  $\varepsilon$  obtenidos fue 10 para todas las fuentes, excepto el difusor de aceites, que requiere ajuste en ambas etapas del proceso  $\varepsilon = 0.8$  (emisión) y  $\varepsilon = 3$  (deposición).**

**El comportamiento de PM<sub>2.5</sub> durante y después de un difusor de aceites está estrechamente relacionado con la Humedad Relativa (directamente proporcional)**

Armenta, G. (2021)

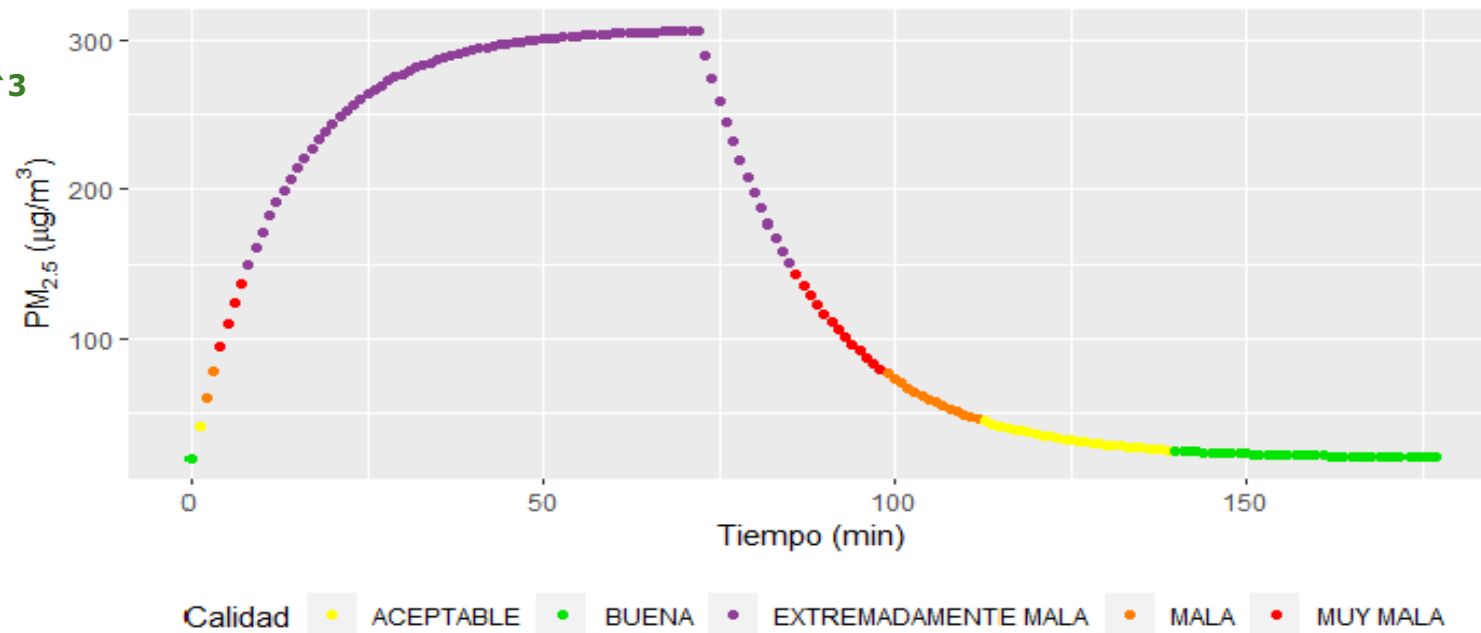
## RESULTADOS

### Simulación con ventilación para el uso de ahuyentadores de mosquitos en espiral.

Habitación de  $36 \text{ m}^3$

$u=0.5 \text{ m/s}$

$C_0 = 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Se observó que se alcanzaron **concentraciones máximas de hasta 12.28 veces la  $C_0$** .

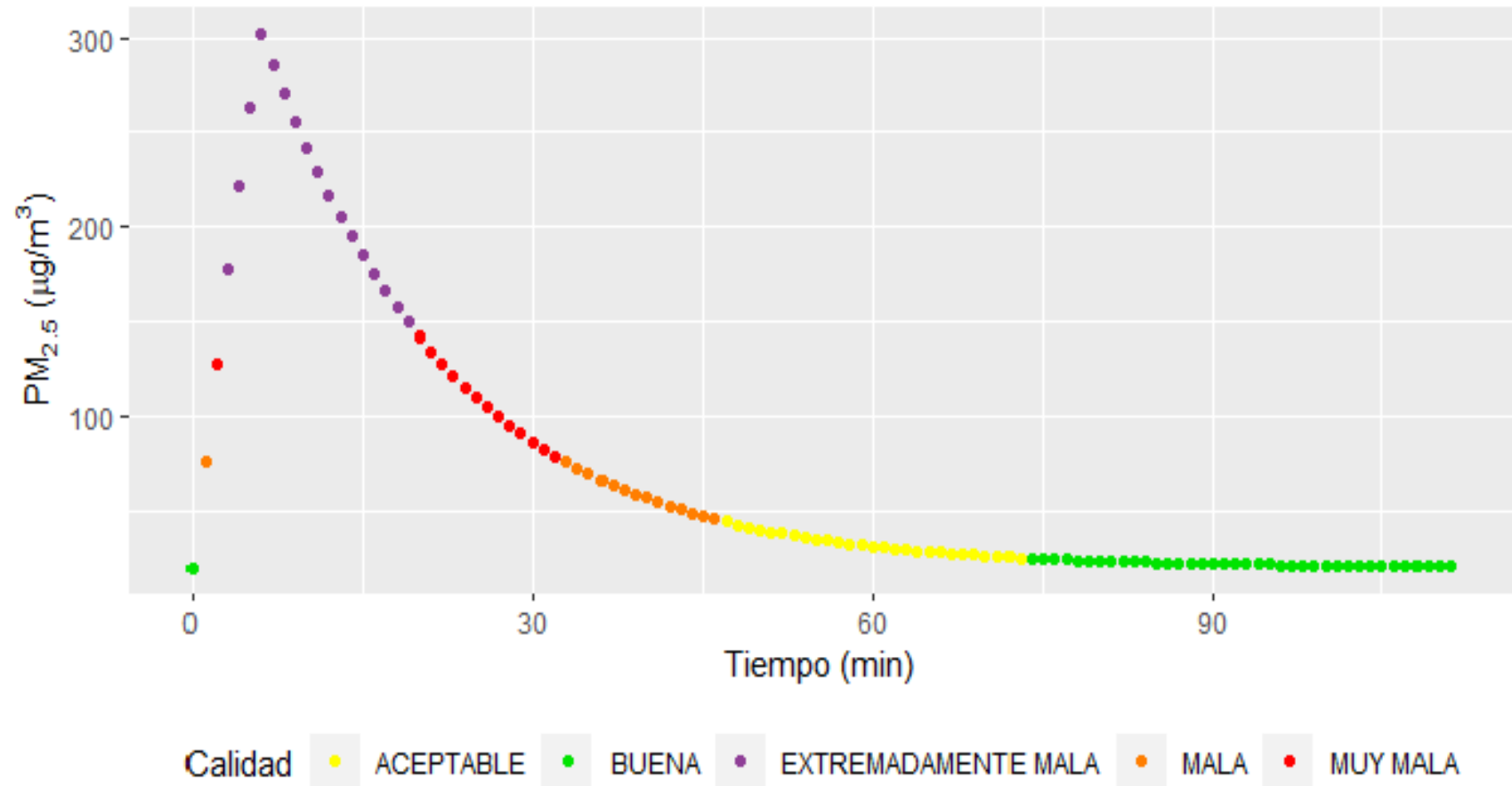
Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> disminuyen significativamente al haber presencia de viento, sin embargo, se mantienen por largo tiempo en niveles que pueden considerarse peligrosos para la salud

## RESULTADOS

Habitación de  $36 \text{ m}^3$

$u = 0.5 \text{ m/s}$

$C_0 = 20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$



Cualificación de la CAI para el uso de velas pirotécnicas de cumpleaños

# RESULTADOS

Autoguardado Interfaz\_final.xlsx

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Automatizar Programador Ayuda Acrobat

Comentarios Compartir

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición Complementos Analizar datos Copilot Crear un PDF Adobe Acrobat

A1

**HABLANDO**

**Inicio**

Barrer

Velas

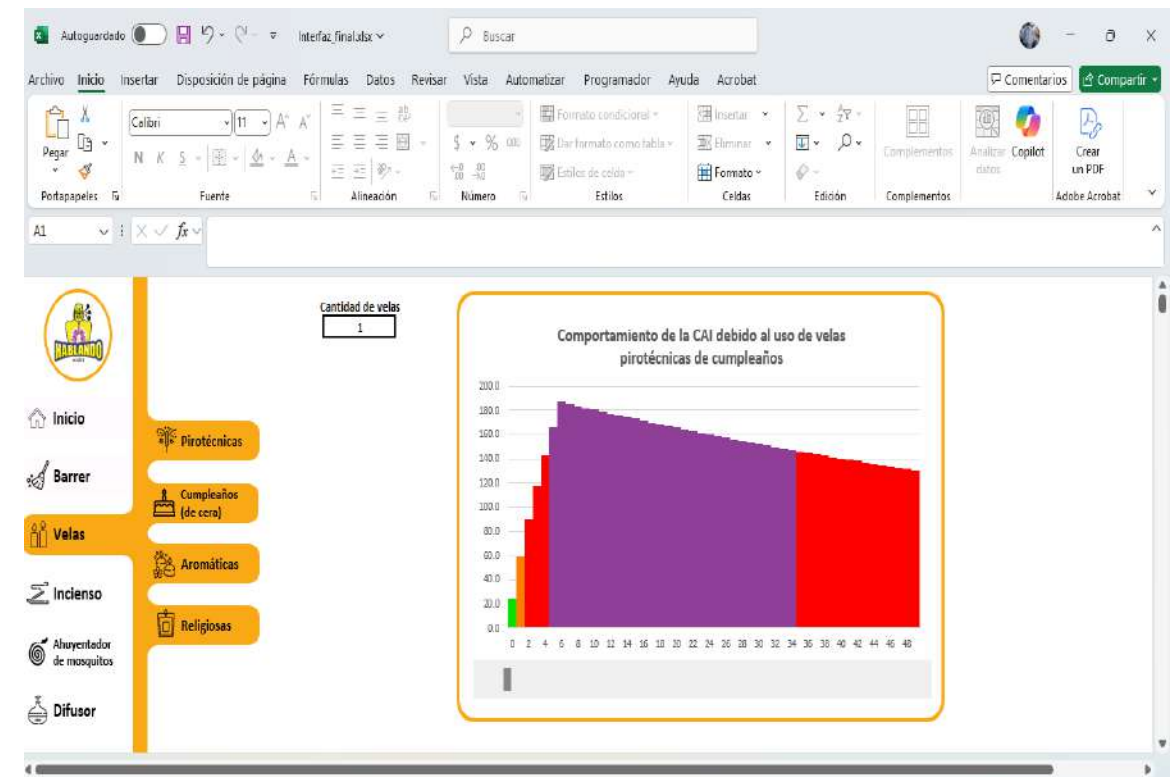
Incienso

Ahuuyentador de mosquitos

Difusor

A continuación, ingresa o selecciona los siguientes datos de acuerdo con las características del espacio en donde deseas realizar las actividades.

- ¿Cuáles son las dimensiones de la habitación?  
Largo = 6 m  
Ancho = 6 m
- ¿El espacio se encuentra abierto o cerrado?
- ¿Cómo consideras que se encuentra la calidad del aire antes de iniciar la actividad?

<http://hablandoal aire interior.Shinyapps.io/simocai>



## CONCLUSIONES

---

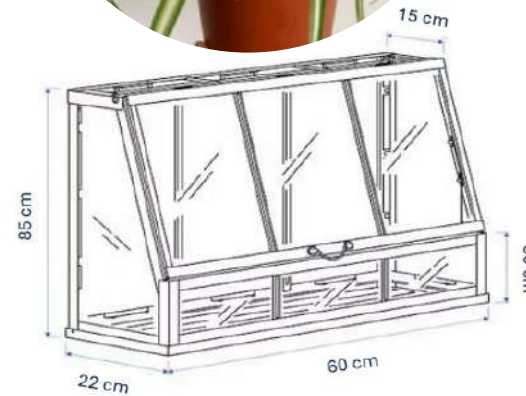
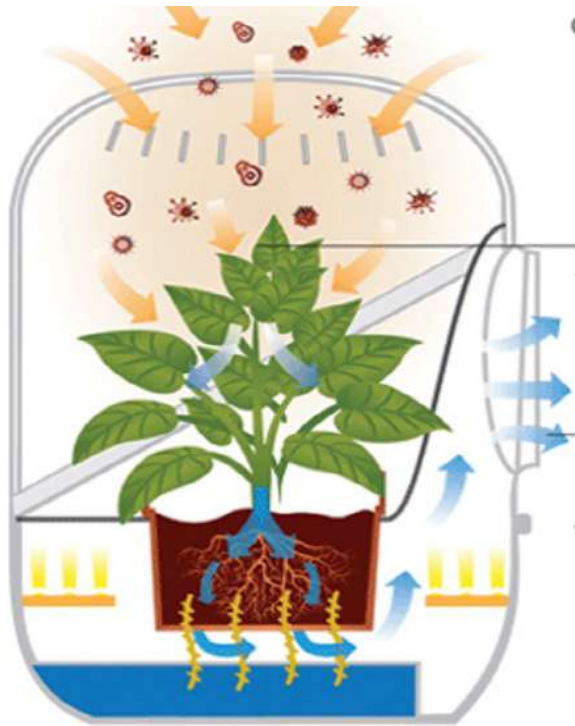
Para el uso de velas religiosas y aromáticas, **el método de apagado** juega un papel **importante** en el comportamiento del PM. Al **soplar se genera más PM<sub>2.5</sub>** en comparación con el uso de un trapo húmedo.

El uso de **velas pirotécnicas** de cumpleaños es una actividad riesgosa debido a que es **una emisión momentánea**, que **eleva** de manera **significativa las PM<sub>2.5</sub>**, y se **mantienen altas durante un periodo largo de tiempo**. El **cumpleañero** el que **inhala la mayor cantidad de PM** y, por consiguiente, quien está en mayor riesgo de perjudicar su salud.

La presencia de **ventilación influyó** en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>

Entre las limitaciones y áreas de oportunidad del trabajo se encuentran el valor adimensional empírico y los valores de  $\alpha_e$  y  $\alpha_s$ . Para estos parámetros haría falta realizar monitoreos en espacios con diferentes volúmenes para verificar si estos varían dependiendo del volumen.

## ACTUALMENTE



Más información



<https://casap.science/>



[casap@casap.science](mailto:casap@casap.science)

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

OJOS QUE NO VEN, CORAZÓN QUE SI SIENTE Y PULMONES QUE RESIENTEN



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



Más información



<https://casap.science/>



[casap@casap.science](mailto:casap@casap.science)



## REFERENCIAS

---

**Martínez J.A, Carrera J.M. & Magaña E. (2025). Simulación del comportamiento de PM2.5 como efecto de actividades no esenciales dentro de espacios con poca ventilación; AIDIS; Vol. 18, No. 1, 78-93; ISSN: 0718-378X; [doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.18.1.88120](https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.18.1.88120)**

Armenta, G. (2021). Evaluación de la exposición a formaldehídos y material particulado intramuros debido al uso de aromatizantes en aerosol. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Dacunto, P. J., Cheng, K., Acevedo-Bolton, V., Jiang, R., Klepeis, N. E., Repace, J., Ott, W. R., Hildemann, L. M. (2013). Real-time particle monitor calibration factors and PM2.5 emission factors for multiple indoor sources, Environmental Science: Processes & Impacts, 15(8), 1511-1519. <https://doi.org/10.1039/c3em00209h>

**Espinoza, R. (2024). Modelo para el comportamiento temporal del material particulado debido a actividades cotidianas en interiores . [Tesis de Licenciatura]. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.**

Guo, Z., Mosley, R., McBrian, J., Fortmann, R. (2000) Fine particulate matter emissions from candles. Engineering Solutions to Indoor Air Quality Problems Symposium, Air & Waste Management Association, 98, 211-225. Consultado el 15 de junio de 2023. Desde: [https://www.researchgate.net/publication/259083475\\_Fine\\_Part particulate\\_Matter\\_Emissions\\_from\\_Candles](https://www.researchgate.net/publication/259083475_Fine_Part particulate_Matter_Emissions_from_Candles)

Lee, S. & Wang, B. L. (2006) Characteristics of emissions of air pollutants from mosquito coils and candles burning in a large environmental chamber, Atmospheric Environment, 40(12), 2128–2138. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.047>

Mannan, M. & Al-Ghamdi, S. (2021). Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the factors influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structures. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18, 3276. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063276>

Mostafa, M., Khalaf, H. N. B., Zhukovsky, M. (2021) Dynamic of particulate matter for quotidian aerosol sources in indoor air, Atmosphere, 12(12), 1682. <https://doi.org/10.3390/atmos12121682>

See, S., Balasubramanian, R. (2011) Characterization of fine particle emissions from incense burning, Building and Environment, 46(5), 1074–1080. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.006>

Ongwandee, M., Pipithakul, W. (2010) Air pollutant emissions from the burning of incense, mosquito coils, and candles in a small experimental chamber, Applied Environmental Research, 32, 69–79. <https://doaj.org/article/69f7843d227b4f6f90615137aa75e9fa>