



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**División Académica de Ciencias Biológicas**



---

---

**“SIMULACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES PARA  
DIFERENTES EVENTOS MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DIGITAL.”**

**Trabajo recepcional, en la modalidad de:**

**Tesis**

**Para obtener el título en:**

**Licenciatura en Ing. Ambiental**

**Presenta:**

**Jimmy Navarro Kauil**

**Directores:**

**M.I.S.A. Elizabeth Magaña Villegas  
M.I.A. Jesús Manuel Carrera Velueta**

**Villahermosa, Tabasco, México**

**Octubre, 2019**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# Simulación De La Calidad Del Aire En Interiores Para Diferentes Eventos Mediante Una Herramienta Digital

Por Jimmy Navarro Kauil

---

CANTIDAD DE PALABRAS 14050

HORA DE ENTREGA

01-JUL-2025 09:30A. M.

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO

117015814

# Simulación De La Calidad Del Aire En Interiores Para Diferentes Eventos Mediante Una Herramienta Digital

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="#">Jimmy Navarro Kauil, Elizabeth Magana Villegas, Jesus Manuel Carrera Velueta. "Behavior of pollutants due to daily activities in the home", 2019 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASP), 2019</a> Crossref	627 palabras — 5%
2	<a href="#">docplayer.es</a> Internet	362 palabras — 3%
3	<a href="#">eventos.uninorte.edu.co</a> Internet	96 palabras — 1%
4	<a href="#">amica.com.mx</a> Internet	61 palabras — 1%
5	<a href="#">www.slideshare.net</a> Internet	54 palabras — < 1%
6	<a href="#">www.coursehero.com</a> Internet	50 palabras — < 1%
7	<a href="#">www.madrid.org</a> Internet	48 palabras — < 1%
8	<a href="#">fdocuments.es</a> Internet	47 palabras — < 1%

9	<a href="http://repositorio.untels.edu.pe">repositorio.untels.edu.pe</a> Internet	47 palabras — < 1%
10	<a href="http://www.propur.net">www.propur.net</a> Internet	44 palabras — < 1%
11	<a href="http://repositorio.usm.cl">repositorio.usm.cl</a> Internet	41 palabras — < 1%
12	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet	40 palabras — < 1%
13	<a href="http://espanol.libretexts.org">espanol.libretexts.org</a> Internet	34 palabras — < 1%
14	<a href="http://www.inmoley.com">www.inmoley.com</a> Internet	30 palabras — < 1%
15	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Internet	28 palabras — < 1%
16	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Internet	21 palabras — < 1%
17	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Internet	20 palabras — < 1%
18	<a href="http://www.ecoticias.com">www.ecoticias.com</a> Internet	20 palabras — < 1%
19	<a href="http://www.amica.com.mx">www.amica.com.mx</a> Internet	19 palabras — < 1%
20	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Internet	18 palabras — < 1%

---

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 17 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

OCTUBRE 24 DE 2019

**C. JIMMY NAVARRO KAUIL  
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL  
PRESENTE**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se les autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"SIMULACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES PARA DIFERENTES EVENTOS MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DIGITAL"**, asesorado por MISA. Elizabeth Magaña Villegas y MIA. Jesús Manuel Carrera Velueta sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Roberto Hernández Barajas, Dra. Liliana Pampillón González, MISA. Elizabeth Magaña Villegas, MIPA. Sergio Ramos Herrera y Dra. Erika Escalante Espinosa.

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCION EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
Archivo.



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, 337-9611, 337-9706. Fax (993) 354-4308 y 358-1579

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

[www.ujat.mx](http://www.ujat.mx)

Jimmy Navarro Kauil





*Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*



**CARTA AUTORIZACIÓN**

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis denominado: **“SIMULACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES PARA DIFERENTES EVENTOS MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DIGITAL”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 24 de Octubre de 2019

**AUTORIZO**

**JIMMY NAVARRO KAUIL**





*Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*



**Dedicatoria**

*Porque este logro no solo me pertenece a mí, este trabajo no se hubiera completado si no fuese por unas personas muy importantes en mi vida, unas personas que han aguantado horas de trabajo y desvelos, unas personas que han realizado incontables sacrificios para que yo llegara hasta donde estoy.*

*Por todo esto, este trabajo va dedicado a **mis padres** que siempre me han apoyado y son parte fundamental de todos mis logros.*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.





## Agradecimientos

*“El agradecimiento es la memoria del corazón”*

- Lao-Tse

Agradezco al destino que me acerco a las personas correctas y puso en mi vida todos los elementos para terminar este proyecto.

A mis **padres** que me apoyaron en todas las decisiones que he tomado. Por darme la libertad de escoger una titulación por tesis, aunque eso significara extender mi tiempo en la universidad. Por nunca darme un no por respuesta cuando quise aventurarme en una nueva experiencia académica. Por todos los sacrificios que han hecho para que yo y mis hermanos pudiéramos salir adelante y por darme la libertad de cometer mis propios errores y celebrar mis victorias.

A mi asesora **Elizabeth Magaña Villegas** por ver un potencial en mí y darme la oportunidad de trabajar en esta tesis, por aguantarme y confiar en mi para terminar esta aplicación. Por su orientación que me ayudó a conseguir un primer lugar y mención honorífica por la presentación de este trabajo, que son logros que jamás me hubiera imaginado conseguir. Por la oportunidad de presentar este trabajo en diferentes eventos, que me ayudaron a controlar los nervios de hablar ante una audiencia. Por su apoyo en la participación en un congreso internacional en Colombia. Por esa motivación de hacer las cosas bien que solo los grandes maestros pueden lograr. He sido apoyado, alentado, inspirado y tolerado por usted, y gracias a eso es que este trabajo se logró terminar. Gracias por todo lo que ha hecho por mí, sin duda es una persona que nunca olvidaré.

A mi asesor **Jesús Manuel Carrera Velueta** por su valiosa aportación con las observaciones que permitieron mejorar este trabajo. Por su apoyo con el despliegue de AirCas en una página web y por sus consejos y observaciones a la hora de





## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

presentar un trabajo que permitieron mejorar mi desempeño a la hora de hablar ante una audiencia.

Al grupo sinodal conformado por el **Dr. José Roberto Hernández Barajas**, **Dra. Liliana Pampillón Gonzáles**, **M.I.S.A. Elizabeth Magaña Villegas**, **M.I.P.A. Sergio Ramos Herrera** y **Dra. Erika Escalante Espinosa** por su tiempo para leer este trabajo y realizar observaciones que permitieron mejorarlo.

A **Gustavo Armenta Ramírez**, **Lucio Córdova López** y **Fabiola Jazmín Jiménez Hernández** por acompañarme durante varios años ya que el transcurso de la carrera no hubiera sido el mismo sin su compañía.

A **Irving Iván Salvador Torres** y **Guadalupe Christhell Tiquet López** por su apoyo con los datos de monitoreo y compañía durante la realización de esta tesis.

A **Antonio, Raúl** y **Ever** por su compañía durante la realización de esta tesis y por sus recomendaciones para que AirCas fuera mejorando.

Al **grupo de monitoreo atmosférico** de agosto – diciembre del 2018 por su apoyo brindado con los monitoreos de formaldehído.

A las personas que con su ejemplo me han ayudado a ser mejor persona y que me enseñaron que siempre hay que tender la mano y ayudar a los demás porque todos somos iguales.

Y para no verme tan meloso, caca, estiercol, cola.

Fin (de los agradecimientos, más adelante viene la razón por la que escribí todo esto).



# Índice

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>5</b>
2.1 Marco conceptual .....	6
2.1.1 Efectos a la salud por contaminantes del aire y parámetros de confort.....	6
2.1.2 Normas de referencia .....	9
2.1.3 Usabilidad de la App .....	11
2.2 Marco referencial.....	12
2.3 Justificación.....	14
<b>Capítulo 3. Objetivos.....</b>	<b>15</b>
3.1 Objetivo general .....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
<b>Capítulo 4. Metodología.....</b>	<b>16</b>
4.1 Identificación de actividades a simular.....	17
4.2 Monitoreo y aseguramiento de información de calidad del aire interior.....	17
4.3 Análisis de datos .....	18
4.4 Desarrollo de la aplicación .....	23
4.4.1 Selección de lenguaje de programación .....	23
4.4.2 Programación de AirCas .....	23
4.5 Despliegue de la aplicación.....	24
<b>Capítulo 5. Resultados.....</b>	<b>25</b>
5.1 Asociación de la calidad del aire para el proceso de cocción con base en PM <sub>2.5</sub> y CO <sub>2</sub> .....	26
5.2 Asociación de la calidad del aire para el proceso de barrer con base en PM <sub>10</sub> .....	31
5.3 Asociación de la calidad del aire para el proceso de sanitizar con base en CH <sub>2</sub> O para espacios cerrados con y sin ventilación.....	32
5.4 AirCas .....	37
5.3 Validación de AirCas .....	43
<b>Capítulo 6. Conclusión.....</b>	<b>47</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>48</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>54</b>
Resultados de encuesta a alumnos.....	54
Resultados de encuesta a profesores .....	56



## Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de comportamiento del PM <sub>2.5</sub> para un proceso de cocción. Los colores verde, amarillo y naranja de la línea punteada indican una calidad del aire buena, aceptable y mala respectivamente, mientras que la línea continua representa el límite máximo permisible para PM <sub>2.5</sub> que se establece en la NOM-025-SSA1-2004. ....	20
Figura 2. Tendencia del PM <sub>10</sub> para la actividad de barrer. Los colores verde, amarillo, naranja y rojo indican una calidad del aire buena, aceptable, mala y muy mala respectivamente. ....	21
Figura 3. Tendencia del CH <sub>2</sub> O para el evento de sanitizar con ventilación. La sección blanca indica las concentraciones de CH <sub>2</sub> O durante la actividad, mientras que la sección roja indica el periodo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. ....	22
Figura 4. Duración de cada etapa del proceso de cocción y comportamiento del PM <sub>2.5</sub> . a) Duración de las etapas en el proceso de cocción corta, b) Duración de las etapas en el proceso de cocción larga y c) Comportamiento del PM <sub>2.5</sub> en una actividad de cocción. ....	27
Figura 5. Tendencia del PM <sub>2.5</sub> para el proceso de cocción corta. ....	28
Figura 6. Tendencia del PM <sub>2.5</sub> para el proceso de cocción largo. ....	29
Figura 7. Tendencia del CO <sub>2</sub> en el proceso de cocción corto. ....	30
Figura 8. Tendencia del CO <sub>2</sub> en el proceso de cocción larga. ....	31
Figura 9. Tendencia del PM <sub>10</sub> para la actividad de barrer. ....	32
Figura 10. Tendencia del CH <sub>2</sub> O con aplicación de 4 segundos en un espacio con ventilación. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. ....	33
Figura 11. Tendencia del CH <sub>2</sub> O con aplicación de 10 segundos en un espacio con ventilación. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. ....	34
Figura 12. Tendencia del CH <sub>2</sub> O con aplicación de 10 segundos en un espacio sin ventilación. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. ....	35
Figura 13. Tendencia del CH <sub>2</sub> O con aplicación de 4 segundos en un espacio cerrado. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. ....	36
Figura 14. Registro público de derechos de autor de AirCas. ....	37
Figura 15. Menú principal de AirCas. ....	38
Figura 16. Menú de selección de habitaciones. ....	38





## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

Figura 17. Opciones para simular. a) Tutorial, b) Sala, c) Cocina y d) Baño.....	39
Figura 18. Elementos en pantalla durante la simulación. ....	40
Figura 19. Contenido del aula virtual. a) Menú principal, b) Información de calidad del aire, c) Juego de preguntas y d) Premio ficticio.....	42
Figura 20. Presentación de AirCas a alumnos. ....	43
Figura 21. Presentación de AirCas a profesores.....	43
Figura 22. Resultados de la encuesta a alumnos.....	44
Figura 23. Percepción de calidad del aire en interiores por actividades domésticas. ....	45
Figura 24. Probabilidad de recomendación de AirCas a otras personas.....	46

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.





# *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*



## **Resumen**

La contaminación del aire en interiores se ha vuelto un tema de interés debido al efecto que tiene sobre la salud humana, causando problemas en los sistemas respiratorio y cardiovascular, y a que las personas pasan más del 85% de su tiempo en espacios interiores, donde las concentraciones del aire pueden ser más altas que en el exterior. Las actividades de la vida diaria como limpieza o cocinar, en la actualidad, se realizan con procesos y productos que elevan los niveles de contaminación. Sin embargo, la mayoría de las personas al realizar estas actividades no están conscientes de la problemática o que al modificar sus hábitos podrían disminuir el riesgo. En este sentido, esta investigación tuvo como propósito evaluar las actividades cotidianas que favorecen mala calidad del aire interior para desarrollar una aplicación móvil que concientice a la población sobre esta problemática. La evaluación se realizó a través de una revisión bibliográfica, identificando las actividades en el hogar (cocinar, barrer y sanitizar) que más elevan los contaminantes. Se realizaron monitoreos y se adquirieron bases de datos de investigaciones previas para los contaminantes  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CO_2$  y  $CH_2O$ . Posteriormente, se realizó un análisis de las concentraciones por minuto y se obtuvo una medida de tendencia central de los contaminantes. De la tendencia temporal para cocinar, barrer y sanitizar se observó que se elevan significativamente las concentraciones de contaminantes y a pesar de que dependen de muchos factores, fueron evidentes los patrones de comportamiento entre las actividades y la calidad del aire interior por lo que se diseñó y programó una App basada en las tendencias. Los resultados muestran que la cocción es la actividad que mayor riesgo genera por los tiempos prolongados que mantienen una mala calidad del aire con respecto al  $PM_{2.5}$ . Con respecto al  $CO_2$ , este no mostró un aumento significativo en sus concentraciones si se cocinaba por cortos o largos periodos. La actividad de sanitizar en espacios con nula ventilación mantuvo concentraciones altas de formaldehído por tiempos prolongados, poniendo riesgo la salud de las personas. Finalmente, la aplicación para dispositivos móviles (AirCas) permite simular estas actividades de forma que las personas puedan identificar los riesgos y fuentes de contaminantes en hogares. Adicionalmente, AirCas contiene un apartado en el que el usuario puede acceder a información relacionada con la contaminación del aire y un juego de preguntas y respuestas que permite reforzar sus conocimientos en esta área.



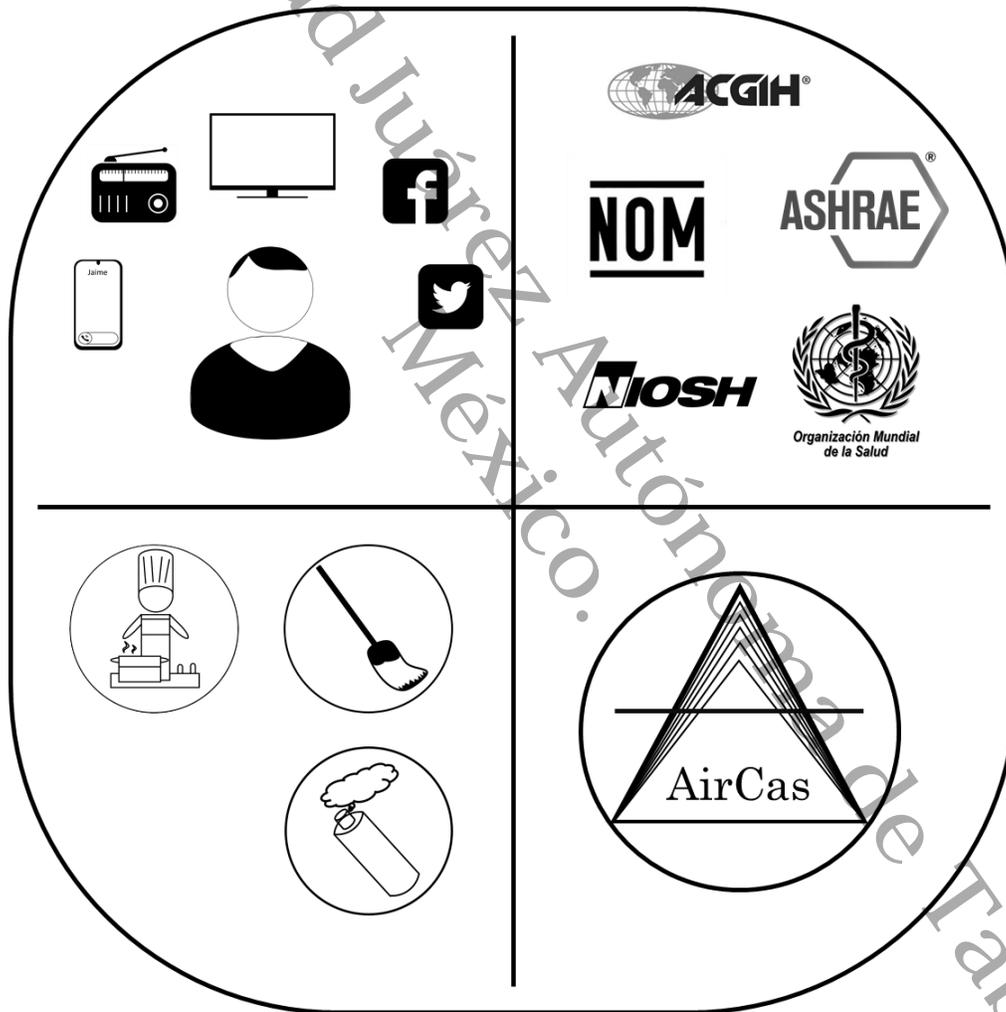
---

## Capítulo 1. Introducción

---

*“Todo logro comienza con la  
decisión de intentarlo”*

- Desconocido





## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

La contaminación del aire por fuentes antropogénicas es un problema que ha ido en aumento durante las últimas décadas, siendo una constante que representa un riesgo ambiental, ocasionando problemas de salud a la población. En 2012, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 7 millones de muertes (11.6 % de todas las muertes mundiales) estuvieron relacionadas con la contaminación del aire tanto de interiores como de exteriores (OMS, 2014). Adicionalmente, la OMS indica que casi el 90 % de las muertes relacionadas con la contaminación del aire se producen en países de ingresos bajos y medianos, y casi dos de cada tres se producen en las Regiones de Asia Sudoriental y del Pacífico Occidental (OMS, 2016).

La contaminación del aire en interiores puede ser igualmente letal que en exteriores y es un problema que no se debe soslayar, debido a que las personas pasan la mayor parte de su tiempo en interiores — tales como casas, escuelas, oficinas, centros comerciales, etc — que en el exterior. En estos espacios las concentraciones pueden alcanzar niveles mayores que los que se encuentran en el exterior, debido a factores como una ventilación inadecuada, el material del mobiliario y actividades como limpiar y cocinar (Matías *et al.*, 2016). En particular, las actividades humanas en el hogar contribuyen al deterioro de la calidad del aire en el mismo. Cada año, mueren 3.8 millones de personas prematuramente por enfermedades atribuibles a la contaminación del aire interior causadas por el uso de combustibles sólidos ineficientes para cocinar (datos del 2012). Entre esas defunciones: a) 27 % se deben a neumonía, b) 18 % a accidente cerebrovascular, c) 27 % a cardiopatía isquémica, d) 20 % a neumonía obstructiva crónica, y e) 8 % a cáncer de pulmón (OMS, 2018). No obstante, el mayor impacto es sobre la población infantil, puesto que más de la mitad de las muertes de niños menores de 5 años por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (ALRI), son debidas a partículas inhaladas por la contaminación del aire interior producto del uso de combustibles sólidos (Mukhopadhyay *et al.*, 2014; Andrade, 2017).

Diferentes estudios han revelado la importancia de las fuentes interiores en el incremento de los contaminantes, estas fuentes incluyen distintas actividades humanas tales como la resuspensión de partículas por personas o mascotas,



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

limpieza de superficies, motores eléctricos, entre otros (Monn *et al.*, 1995; Tucker, 2000). Los procesos de combustión son la fuente principal de partículas pequeñas, con la mayoría de ellas en el rango submicrométrico conteniendo una gran cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos. (Morawska y Zhang, 2002). Por otro lado, la resuspensión de partículas por el movimiento humano contribuye al aumento de partículas de mayor diámetro, usualmente arriba de 1  $\mu\text{m}$  (He, 2004).

La experiencia en la mala calidad del aire ambiente, nos indica que la sociedad ha colaborado con acciones para mejorarla sólo cuando ha podido constatar la problemática. Sin embargo, la conciencia de los riesgos a la salud por la mala calidad del aire en interiores ha quedado rezagada en comparación con la contaminación del aire exterior.

El nivel de conciencia de la población sobre un problema y su capacidad para responder ante él, está relacionado con el nivel de percepción que tienen del mismo. Al respecto, la percepción ambiental del individuo está formada por su experiencia directa y su interacción social, en la escuela, a través los medios de comunicación masiva, con grupos de interés, entre otros (Albanesi y Lago, 2011). La interpretación que los individuos dan a la contaminación del aire en su vida diaria depende de los estímulos que captan a través de los sentidos y el cuerpo (Fernández, 2008; Catalán *et al.*, 2009).

Es por estas razones, que la concientización de la población en relación con la contaminación del aire interior es de vital importancia para lograr en los individuos un cambio en su comportamiento, que refleje valores y actitudes de respeto al ambiente, pero de manera particular, un comportamiento que refleje un nivel de conciencia para contribuir a mitigar la contaminación y disminuir, consecuentemente, el riesgo a su salud. Existen muchas estrategias para lograr este propósito: campañas de educación ambiental a través de anuncios publicitarios en radio y televisión, infografías distribuidas en redes sociales, hasta “memes” contruidos con un objetivo educativo pueden ayudar a que un individuo tome conciencia de sus actos en contra de la contaminación del aire. Hoy en día, con la llegada y uso de nuevas tecnologías, la búsqueda de información se ha hecho cada



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

vez más fácil para la población, siendo una de éstas las aplicaciones para dispositivos móviles. Las aplicaciones móviles se han convertido en una opción rápida y sencilla por lo que es importante aprovechar esta herramienta para concientizar a la población de una forma dinámica y de fácil acceso. En este sentido, la presente investigación tuvo como propósito, evaluar algunas de las actividades cotidianas que alteran la calidad del aire interior para desarrollar una herramienta digital que concientice a la población sobre esta problemática.

La evaluación se realizó a través de una revisión bibliográfica, identificando las actividades en el hogar que más elevan los contaminantes como cocinar, barrer y sanitizar. Se realizaron monitoreos y se adquirieron bases de datos de investigaciones previas para los contaminantes  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CO_2$  y  $CH_2O$ . Posteriormente, se realizó un análisis de la tendencia temporal de las concentraciones de los contaminantes para cada actividad y se obtuvo una medida de tendencia central de cada contaminante. Se identificaron en las series temporales los periodos correspondientes de cada categoría de calidad del aire. Por último, se realizó la programación de una aplicación para dispositivos móviles que tiene por nombre: AirCas.

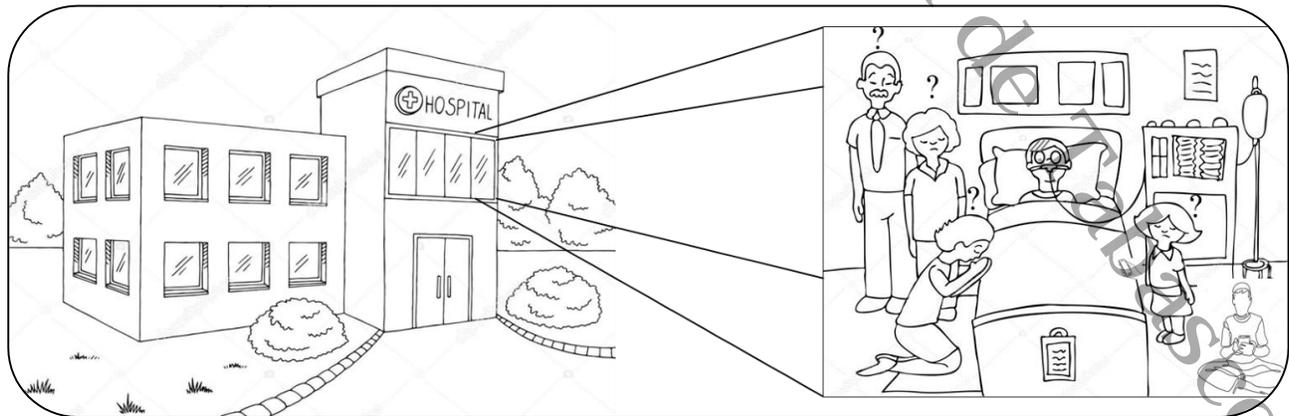
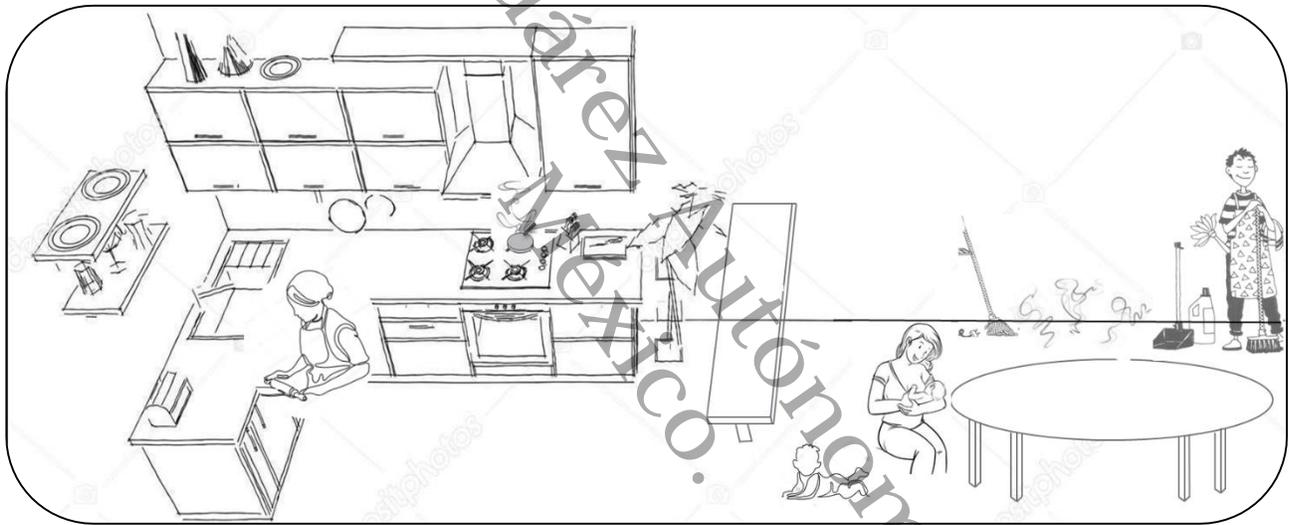
AirCas es una aplicación para dispositivos móviles que muestra a los usuarios mediante una simulación de las concentraciones de contaminantes, los riesgos a la salud, de acuerdo con el índice de calidad del aire y salud, ocasionados por barrer, cocinar y sanitizar. Adicionalmente, proporciona información general sobre la problemática de contaminación del aire y permite al usuario reforzar sus conocimientos mediante un juego de preguntas.



## Capítulo 2. Planteamiento del problema

*“Los lugares más oscuros del infierno están reservados para aquellos que mantienen su neutralidad en épocas de crisis moral”*

- Dante Alighieri





En el presente capítulo se exponen los principales conceptos sobre contaminantes en interiores y sus efectos en la salud. De igual forma, se describen los principales resultados de investigaciones y estudios sobre la contaminación en intramuros.

## **2.1 Marco conceptual**

La contaminación del aire es una problemática que no se da exclusivamente en el exterior. En los últimos tiempos se ha demostrado que la calidad del aire interior en espacios donde las personas pasan la mayor parte de su vida, es un determinante esencial de la calidad de vida y el bienestar de las personas. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), la calidad del aire en interiores es un término que se refiere a la calidad del aire dentro y alrededor de edificios y estructuras, especialmente en lo que se refiere a la salud y confort de los ocupantes de los edificios.

Existen muchos factores que influyen en la calidad del aire en interiores tales como: el diseño de los espacios, la construcción, el equipamiento, la operación y el mantenimiento de los edificios u otros espacios interiores, así como la calidad del aire exterior y las actividades de los habitantes (OMS, 2000). En suma, puede afirmarse que el deterioro en la calidad del aire frecuentemente es consecuencia de una ventilación inadecuada, de la contaminación generada en el interior por actividades cotidianas y del aire procedente en el exterior (Guardino, 1998).

### **2.1.1 Efectos a la salud por contaminantes del aire y parámetros de confort**

Los contaminantes del aire afectan la salud de las personas dependiendo del tiempo de exposición, los niveles de concentración y el contaminante. Estos efectos son más susceptibles en grupos vulnerables como niños, ancianos, mujeres embarazadas y personas con enfermedades crónicas como asma y cardiopatías. Entre los efectos más frecuentes se encuentran irritación en los ojos, nariz, y garganta, dolores de cabeza, mareos, y fatiga (Redlich *et al.*, 1997).



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

Existen diferentes contaminantes a los que se exponen las personas cuando realizan actividades dentro de un espacio cerrado, uno muy usual es el material particulado (PM). Este término se emplea para describir la materia sólida y líquida, dispersa y arrastrada por el aire. A las partículas cuyo diámetro aerodinámico es inferior a  $10\ \mu\text{m}$  se la denomina  $\text{PM}_{10}$  y a las de diámetro aerodinámico inferior a  $2.5\ \mu\text{m}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ . Esta variación en tamaño hace que existan diferencias en su comportamiento en cuanto a su movimiento y velocidad de asentamiento, así como en su penetración y daño en el cuerpo humano (García, 2005). Pueden presentarse como: partículas de polvo, humo, niebla, cenizas en suspensión líquida o sólida, entre otros, y pueden estar formadas de numerosos compuestos tales como: fibras minerales, alérgenos, bacterias, virus, metales pesados y sustancias químicas tóxicas que pueden suponer problemas de salud a los ocupantes (Shaughnessy & Vu, 2012). En hogares, puede presentarse por la resuspensión que se produce por la actividad de barrer y por la combustión que se produce al cocinar los alimentos. Los efectos sobre la salud dependen del tipo y composición de la partícula y su facilidad de penetración en el organismo. Datos de diferentes investigaciones señalan que la exposición a material particulado puede causar inflamación pulmonar (Gong *et al.* 2003; Li *et al.* 1996; Salvi *et al.* 1999), irritación de vías respiratorias y ojos, (alveolitis, bronquiolitis, fibrosis), mayor incidencia y agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, aumento de la frecuencia de cáncer pulmonar a largo plazo y enfermedades infecciosas (Marta *et al.*, 2010).

Otro contaminante que se presenta por actividades que realizan en el hogar, es el formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), este es un gas incoloro e inflamable a temperatura ambiente. Tiene un olor penetrante característico y en niveles altos puede producir una sensación de ardor en los ojos, la nariz y los pulmones. Se origina tanto de fuentes naturales como de actividades humanas y puede ser usado como preservativo, desinfectante y biocida. Muchos productos que se utilizan en el hogar de forma cotidiana como textiles, cosméticos, desinfectantes o pinturas emiten  $\text{CH}_2\text{O}$  (Salthammer *et al.*, 2010), por lo que las personas se exponen a este compuesto cada vez que utiliza estos productos. El  $\text{CH}_2\text{O}$  produce irritación de los tejidos cuando entra en contacto directo con éstos. Los efectos primarios por una



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

exposición aguda al  $\text{CH}_2\text{O}$  son la irritación de la mucosa del tracto respiratorio superior y los ojos (Salthammer *et al.*, 2010). El National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), basado en datos de toxicidad aguda por inhalación en humanos (IARC, 1982) indica que una concentración de formaldehído de 20 ppm constituye peligro inmediato para la salud y la vida. De acuerdo a la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés), ingerir cantidades altas de formaldehído puede producir dolor agudo, vómitos, coma y posiblemente la muerte. En diferentes estudios se ha relacionado la exposición al formaldehído y cáncer en seres humanos, tal es el caso de Cogliano y colaboradores (2005) que observaron un incremento en el riesgo de cáncer nasofaríngeo y linfomatomatopoyético. De igual forma, en el 2004, la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC), por sus siglas en inglés, clasificó el formaldehído como cancerígeno para humanos.

Otra forma de evaluar con respecto a la calidad del aire en un edificio, es a través de los niveles de  $\text{CO}_2$  en este. Los niveles de  $\text{CO}_2$  en un edificio permiten detectar la existencia de problemas de calidad de aire por carga química, aunque también puede utilizarse en estudios relacionados tanto con el suministro de aire como su distribución en las zonas ocupadas del lugar (INSHT, 2000). El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas incoloro e inodoro. Es el principal producto de combustión del gas, queroseno, y madera, y estos pueden representar fuentes significantes cuando están en operación (Moriske *et al.*, 1996). El  $\text{CO}_2$  es asfixiante y puede también actuar como irritante respiratorio (Maroni *et al.*, 1995). Con altos niveles de exposición, ocurre un desplazamiento de  $\text{O}_2$  por  $\text{CO}_2$  que contribuye significativamente a la toxicidad, signos de asfixia son evidentes cuando el  $\text{O}_2$  atmosférico es igual o menor a 16 %. Cuando los niveles de  $\text{CO}_2$  exceden de 800 a 1,200 ppm en áreas interiores, muchas personas comienzan a experimentar incomodidad o molestias tales como cansancio, somnolencia, mareos, náuseas, dolores de cabeza, vómitos y problemas respiratorios que, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición, estos síntomas se agravan, en particular en el caso de los niños, y producen quejas, término al que se le da el nombre de “ambiente cargado” (Marta *et al.*, 2010). En este sentido, el  $\text{CO}_2$  es



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

considerado como parámetro de confort, es decir, parámetros ambientales que pueden afectar el confort a los ocupantes, al igual que la temperatura, que tiene un rango recomendado de 22.5 a 26°C en verano y en invierno de 20 a 23.5°C, y la humedad relativa con un rango recomendado entre 40 a 60 % para verano y en invierno de 30 a 60 % (Elkamel *et al.*, 2015).

### **2.1.2 Normas de referencia**

Debido a que la contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud y es a través de la disminución de los niveles de contaminación, así como la reducción de la exposición, que se pueden reducir enfermedades provocadas por contaminantes, se ha creado una forma de medir la calidad del aire en México mediante el Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud que consiste en el establecimiento de cinco categorías que están asociadas a cinco colores (verde, amarillo, naranja, rojo y morado) como se describe en la tabla 1.

Este índice permite informar a la población de manera clara, oportuna y continua, sobre qué tan limpio o contaminado está el aire, los probables daños a la salud por la exposición a éste y las medidas de protección que pueden tomar. Está basado en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), en particular para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> (NOM-025-SSA1-2014), y son catalogados por un índice estadístico atendiendo sus efectos en la salud humana.

El parámetro de confort es un indicador que no en todos los países se establece. En particular, en Estados Unidos la American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) lo tiene establecido en su estándar 62-2001, que establece un límite de 1000 ppm para el CO<sub>2</sub>. Adicionalmente, para los límites de exposición al formaldehído fueron considerados: a) el límite de exposición permisible establecido por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de 0.1 ppm, que no debe extenderse por periodos mayores a 15 minutos y b) el valor límite umbral establecido por la American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) de 0.3 ppm que bajo ninguna circunstancia debe excederse.

Tabla 1. Categorías del índice Aire y Salud



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



Índice AIRE y SALUD	Riesgo asociado	Intervalo de PM <sub>10</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	Intervalo de PM <sub>2.5</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	Descripción del riesgo
Buena	Bajo	0 - 50	0 - 25	Se considera que el riesgo es mínimo o nulo.
Aceptable	Moderado	51 - 75	26 - 45	<p>Ozono (O<sub>3</sub>). Las personas sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (asmáticos).</p> <p>Partículas suspendidas iguales o menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) y partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>). Posible agravamiento de enfermedad pulmonar y cardíaca en personas con enfermedad cardiopulmonar y adultos mayores.</p>
Mala	Alto	76 - 155	46 - 79	<p>Para todos los contaminantes criterio, disminución en la capacidad pulmonar en personas sanas.</p> <p>Incremento en la probabilidad de aparición de síntomas respiratorios en personas sensibles (niños, ancianos, personas con deficiencias nutricionales, personas de bajo nivel socioeconómico, personas que realizan actividades en exteriores, ciclistas, trabajadores).</p> <p>En personas con enfermedades respiratorias (EPOC, asma) y cardíacas (angina de pecho) 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.</p>
Muy Mala	Muy Alto	156 - 235	80 - 147	<p>Para todos los contaminantes criterio, mayor probabilidad de presencia de síntomas respiratorios en población general. Agravamiento de síntomas respiratorios en poblaciones sensibles (niños, adultos mayores, personas que trabajan en exteriores, ciclistas, personas con bajo nivel socioeconómico) y en personas con enfermedad pulmonar (EPOC y asma). 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.</p>
Extremadamente mala	Extremadamente alto	Más 236	Más de 148	<p>Para todos los contaminantes criterio, incremento en la probabilidad de síntomas severos respiratorios en población general.</p> <p>Serios efectos respiratorios y agravamiento de síntomas en personas sensibles (niños, adultos mayores, persona con deficiencias nutricionales, personas de bajo nivel socioeconómico) 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.</p>



### **2.1.3 Usabilidad de la App**

La usabilidad es una característica que mide que tan intuitiva y fácil de usar es un software para el usuario común, consiguiendo objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción (Díaz, 2018). Guerrero *et al.*, (2013) establecen que una interfaz es usable si presenta 5 características a las que denomina, las 5E (por sus siglas en inglés).

-Eficaz (Effective). “La efectividad es la integridad y exactitud con que los usuarios alcanzan el propósito para la cual la interfaz fue desarrollada”.

-Eficiente (Efficient). “La eficiencia puede ser descrita como la rapidez con la que los usuarios pueden realizar las tareas para las que utilizan la interfaz”.

-Atractiva (Engaging). “Una interfaz es atractiva si es agradable y satisfactoria al usar. El diseño visual es el elemento más evidente de esta característica”.

-Tolerante a errores (Error-Tolerant). “El objetivo final en un sistema es carecer de errores. Sin embargo, no están exentos de tenerlos, por lo que una interfaz tolerante a errores está diseñada para ayudar al usuario en la recuperación de los errores que se produce en el proceso de interacción con el sistema”.

-Fácil de aprender (Easy.to-learn). “Una interfaz fácil de aprender permite a los usuarios desarrollar sus conocimientos sin esfuerzo deliberado. Esto significa permitir a los usuarios aprovechar no sólo su conocimiento previo de un sistema informático, sino también de cualquier patrón de interacción que han aprendido a través del uso de una manera predecible”.

Por lo tanto, la usabilidad también funciona como una metodología de evaluación, medición y mejoramiento de los sistemas interactivos (Guerrero *et al.*, 2013).



## 2.2 Marco referencial

La mala calidad del aire en interiores por diferentes contaminantes se ha vuelto tema de interés, esto debido a sus posibles efecto en la salud humana - tales como problemas en los sistemas respiratorio y cardiovascular (Anderson, 2009) - aunado a que las personas pasan más del 85 % del tiempo en ambientes interiores (hogares, escuelas, oficinas y restaurantes) (Mohamed, *et al.*, 2012).

Las actividades que las personas realizan en un espacio interior pueden llegar a alterar las concentraciones naturales de un contaminante (concentración de fondo, Cf), los cuales pueden elevarse 2, 3, 4 o más veces alcanzando un valor máximo y posteriormente regresando a sus concentraciones de fondo. Las fuentes que alteran la calidad del aire en interiores pueden ser externas o internas. Se ha demostrado que las mayores fuentes que contribuyen al aumento de la concentración de contaminantes en interiores están relacionadas a procesos térmicos (cocción, fumar y velas encendidas) y aparatos eléctricos (Hussein *et al.*, 2006; Wallace, 2006).

Para verificar la contribución de actividades de cocina en el aumento de contaminantes en interiores, See y Balasubramanian (2005) estudiaron la exposición a largo plazo del proceso de cocción y determinaron que esta actividad favorece los problemas en la salud de las personas. He *et al.*, (2004) mostraron en un estudio que durante diferentes actividades tales como fumar cigarro, cocinar a la plancha o freír puede aumentar las concentraciones de fondo hasta 3, 30 y 90 veces respectivamente. Por otro lado, Lu *et al.*, (2018), encontraron que la actividad de freír, puede alcanzar concentraciones de PM<sub>2.5</sub> de 709 a 2731  $\frac{\mu g}{m^3}$ , que supera de 15 hasta 60 veces el límite establecido por normas mexicanas. En otras investigaciones se ha observado que la exposición al material particulado debido a la cocción es más alta que la exposición al material particulado de otras actividades diarias (Bhangar *et al.*, 2011; Wallace and Howard-Reed, 2002; Wallace and Ott, 2011). Uno de los factores más importantes que se incluye para la determinación de la calidad del aire interior es la resuspensión debido a que es un factor que puede aumentar el tamaño de las partículas y la concentración ocasionando un aumento del riesgo de exposición (Qian *et al.*, 2014). Las actividades domésticas que



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

contribuyen a elevar las concentraciones de contaminantes en interiores por resuspensión son: a) el tránsito de las personas, b) mascotas, c) limpieza de superficies, d) motores eléctricos y e) el uso de aspiradoras (Monn *et al.*, 1995; Tucker, 2000).

Generalmente hablando, la exposición al formaldehído es más grande en interiores que en exteriores, esto debido a las fuentes y a la poca circulación del aire en ambientes interiores (Salthammer, *et al.*, 2010). Puede causar mortalidad perinatal, incremento de la susceptibilidad a infecciones y síntomas neurológicos (Ballesteros y Daponte, 2011). De acuerdo a la OMS, la exposición aguda al  $\text{CH}_2\text{O}$  causa molestias, lagrimeos, estornudos, tos, náuseas e irritación en los ojos, nariz y garganta (OMS, 2002). Diferentes estudios sobre los efectos del  $\text{CH}_2\text{O}$  en humanos han sido revisados por Paustenbanch *et al* (1997). Estos autores encontraron que, para la mayoría de las personas, la irritación en los ojos comienza cuando se alcanzan concentraciones arriba de 0.1 ppm, mientras que cuando las concentraciones superan los 2 -3 ppm experimentan irritación en la nariz y garganta de moderada a severa.



## **2.3 Justificación**

En la actualidad la vida moderna ha propiciado que se realicen actividades dentro del hogar sin considerar o saber las consecuencias a la salud. Por ejemplo, el uso de aerosoles, productos de limpieza o productos para mantenimiento del hogar. Hay actividades que son necesarias, como cocinar y barrer, que generan altas concentraciones de contaminantes, por lo que es importante estar conscientes de los riesgos a la salud que estas actividades ocasionan para modificar la actividad de manera que se disminuya el riesgo.

Existen muchas estrategias para alertar a la población sobre esta situación (TV, radio, redes sociales, etc.). En los últimos años, el desarrollo y evolución de la tecnología ha logrado la consolidación de las aplicaciones móviles como interfaz dominante del acceso a contenido (Allen, 2003). Éstas se caracterizan por su economía funcional y por la importancia de su diseño de interfaz (Humphreys *et al.*, 2013).

Cada año el mercado de las aplicaciones móviles experimenta un crecimiento en el número de descargas. De acuerdo a App Annie, en el 2017, se registraron 175 mil millones descargas de aplicaciones alrededor del mundo, dicho de otra forma, hubo un crecimiento del 60 % en el número de apps descargadas con respecto al número registrado en el 2015. Este hecho convierte al mercado de las aplicaciones móviles en un espacio de gran oportunidad para el desarrollo de apps de concientización.

Debido a lo antes mencionado, la presente investigación tuvo por objetivo crear una aplicación para dispositivos móviles que permita concientizar a las personas de los riesgos a la salud que provocan ciertas actividades que se presentan en el hogar.



---

## **Capítulo 3. Objetivos**

---

### **3.1 Objetivo general**

Diseñar una aplicación para dispositivos móviles que simule la calidad del aire en hogares para los contaminantes  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CH_2O$  y el parámetro de confort  $CO_2$ , con base en su tendencia y tiempos de retorno para diferentes actividades de la vida cotidiana.

### **3.2 Objetivos específicos**

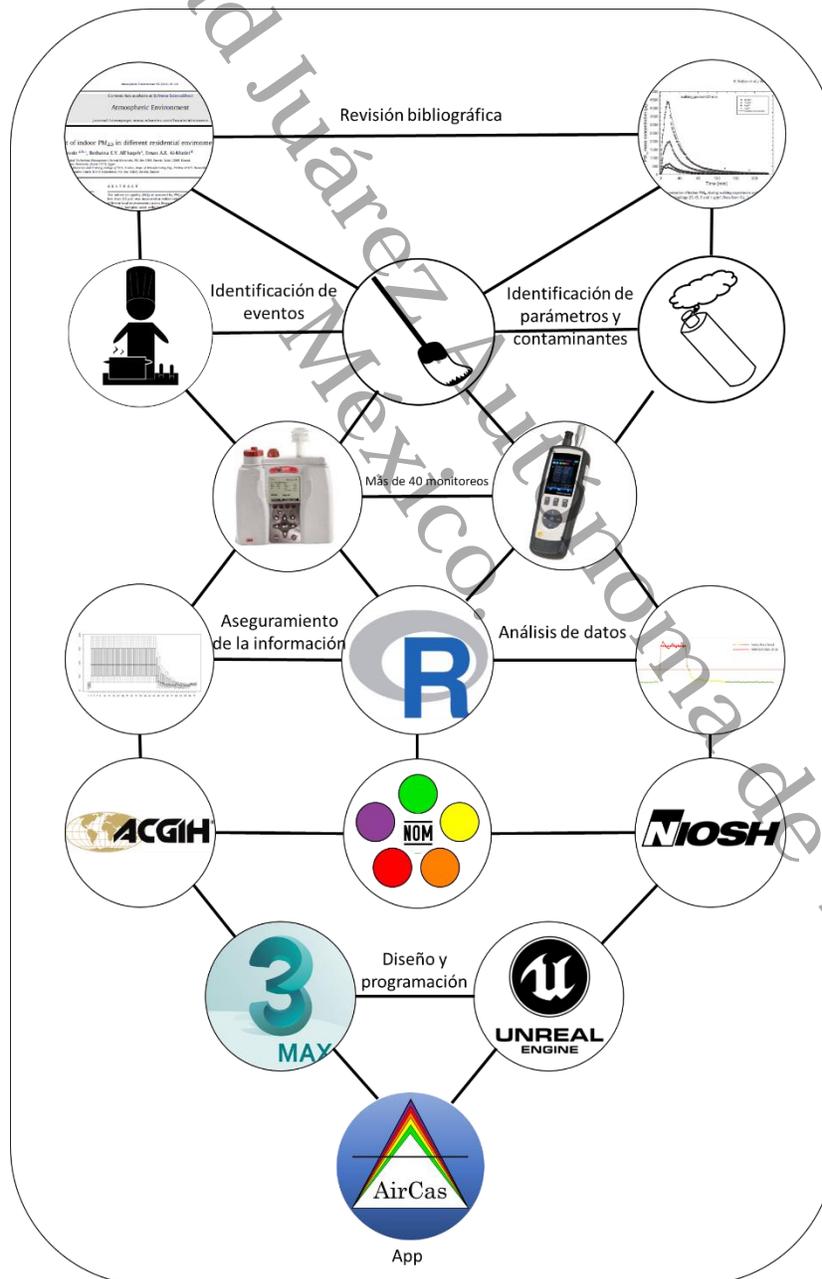
- Identificar las principales actividades domésticas que alteran la calidad del aire.
- Monitorear y asegurar información de calidad del aire debido a actividades domésticas.
- Analizar la tendencia del comportamiento, las concentraciones de fondo, concentraciones máximas y tiempos de retorno de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CH_2O$  y  $CO_2$  para diferentes actividades de la vida cotidiana.
- Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles para la simulación de la calidad del aire en interiores debido a actividades cotidianas.



## Capítulo 4. Metodología

“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida”.

- Marco Aurelio





## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*



En este apartado se describe la metodología para diseñar la aplicación móvil que simula la calidad del aire en el hogar con base en diferentes actividades de la vida cotidiana. La metodología constó de cuatro etapas: a) Identificación de eventos a simular, b) Monitoreo y aseguramiento de información de calidad del aire interior, c) Análisis de datos y d) Desarrollo de la aplicación.

### **4.1 Identificación de actividades a simular**

Se inició la identificación de eventos a simular a través de una revisión bibliográfica, para determinar las principales fuentes de generación de contaminantes producidas por actividades domésticas. Una vez identificadas las principales fuentes contaminantes en el hogar, se seleccionaron aquellas en las que se tenía información previa o podían ser medidas, tales como barrer ( $PM_{10}$ ), cocinar ( $PM_{2.5}$  y  $CO_2$ ) y aplicar aerosoles con fines de desinfección -sanitizar- ( $CH_2O$ ).

### **4.2 Monitoreo y aseguramiento de información de calidad del aire interior**

Para simular la calidad del aire se adquirieron bases de datos de monitoreos de la investigación: "Calidad del aire en la cafetería principal de la División Académica de Ciencias Biológicas" (García y Magaña, 2018) de la que se obtuvieron 19 monitoreos en los cuales se realizaron actividades de cocción y de barrer, y de la investigación en curso: "Calidad del aire en interiores y tiempos de retorno de PM en cocinas domésticas bajo condiciones de trópico húmedo", de la que se obtuvieron 19 monitoreos para la actividad de cocción. Adicionalmente, se realizaron cuatro monitoreos de  $PM_{10}$  para complementar la actividad de barrer y para la obtención de los datos de la actividad de sanitizar se colaboró con el monitoreo que se realizó para el estudio: "Evaluación de las concentraciones de formaldehído derivado de la aplicación en aerosoles en espacios interiores" (Vázquez *et al.*, 2019).



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

Los monitoreos fueron realizados con un fotómetro de dispersión de luz de 90° (EVM-7) para medir el PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO<sub>2</sub>, mientras que para el CH<sub>2</sub>O se utilizó un sensor electroquímico (DT-9881).

Durante cada monitoreo, se registraron continuamente (cada minuto) datos de cada actividad doméstica y la duración de cada monitoreo fue variable. Se consideraron los siguientes tiempos: a) 5 – 15 minutos antes de iniciar la actividad (para identificar la Cf), b) tiempo que duró la actividad y c) tiempo necesario hasta regresar a la (Cf). Es importante resaltar que cuando los tiempos de retorno eran excesivos, se concluía el monitoreo antes de alcanzar las Cf.

Los datos fueron asegurados siguiendo el protocolo de manejo de datos de la calidad del aire propuesto por el SINAIICA (Instituto Nacional de Ecología, s.f.).

### **4.3 Análisis de datos**

Los datos fueron analizados para cada una de las actividades:

#### a) Actividad de cocción

Para los datos de cocción se clasificó la actividad en cocción corta (eventos que duraron menos de 30 minutos) y cocción larga (eventos que duraron más de 30 minutos). Para esta actividad se observó una influencia significativa de las concentraciones de fondo debido a que los monitoreos se realizaron tanto en temporadas de lluvia y en temporadas de seca, por lo que para evitar la discrepancia de los datos se normalizaron previamente.

$$C_{normalizada} = \frac{C_i}{C_{max}} \quad (1)$$

Se analizaron todos los datos de un mismo evento y se identificaron medidas de tendencia central. Para el evento de cocción corta y larga, se utilizó el percentil 75. Debido a que los monitoreos para cada actividad de cocción eran diferentes en sus tiempos de duración, se inició el análisis homologando los datos tomando 2 minutos previos al inicio de la actividad de cada monitoreo. Posteriormente, se estimaron los tiempos promedio de los eventos de cocción corta y larga, sustituyendo en la base original el número de concentraciones por minuto de acuerdo al tiempo promedio



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

de duración por el percentil 75 de cada minuto correspondiente (tabla 2). La parte final de los datos quedaron igual a los datos originales.

Después, se calcularon los tiempos de retorno del contaminante hasta sus concentraciones de fondo mediante la siguiente fórmula:

$$TR = HP - HCF \quad (2)$$

donde:

TR = Tiempo de retorno a Cf, (min).

HP = Minuto en que se presenta la máxima concentración, (min).

HCF = Minuto en que se alcanza la Cf, (min).

*Tabla 2. Diagrama de la construcción de la base de datos para el análisis de tendencias por minuto del proceso de cocción.*

Monitoreo			Base de datos para análisis		
Fase	Tiempo	PM <sub>2.5</sub>	Fase	Tiempo	PM <sub>2.5</sub>
Fondo Inicial	1	25	Fondo inicial	1	25
	2	24		2	26
	3	25			
	4	26			
Cocción	5	-	Cocción	3	P <sub>75</sub>
	6	-		4	
	7	-		5	
	8	-		6	
	9	-		7	
	.	-		.	
	.	-		.	
	n	-		m*	
Retorno a fondo	n+1	-	Retorno a fondo	n+1	-
	n+2	-		n+2	-

Donde m\* queda definido por el tiempo promedio de la cocción

De acuerdo con la tendencia del comportamiento de los contaminantes en los procesos de cocción, se observó que la serie temporal de PM<sub>2.5</sub> puede subdividirse



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

en diferentes etapas de acuerdo con la duración de la cocción. Para una cocción corta o larga se identificaron seis etapas (Figura 1) que representan: a) Etapa 1 (Cf), b) Etapa 2 (Activación de la fuente de emisión-se enciende la estufa-), c) Etapa 3 (Periodo de cocción), d) Etapa 4 (Tiempo de decaimiento alto hasta niveles de norma), e) Etapa 5 (Tiempo de decaimiento bajo) y f) Etapa 6 (Cf final).

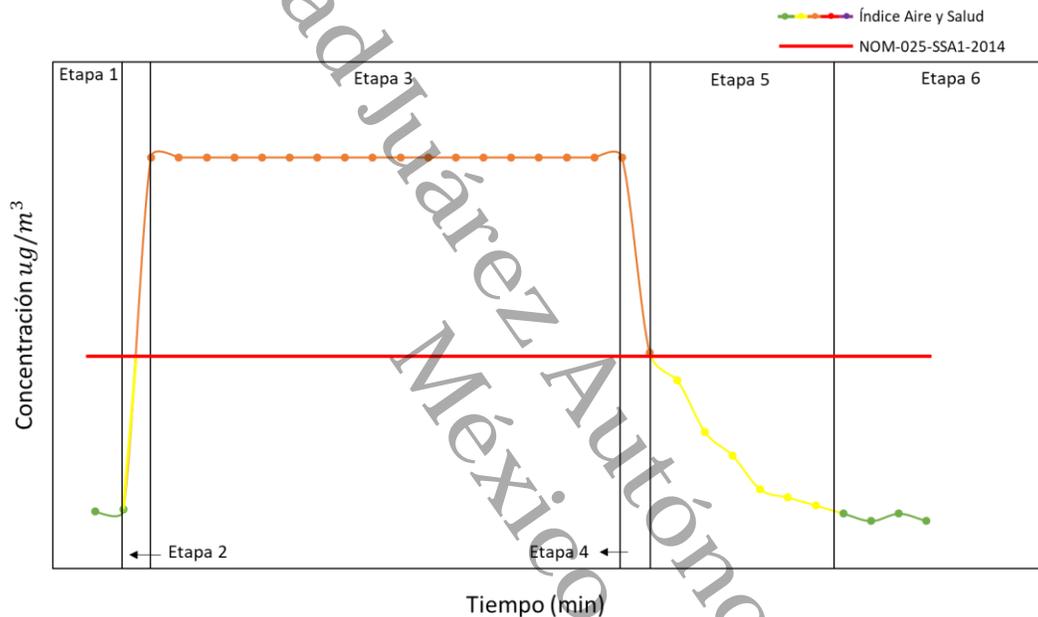


Figura 1. Ejemplo de comportamiento del  $PM_{2.5}$  para un proceso de cocción. Los colores verde, amarillo y naranja de la línea punteada indican una calidad del aire buena, aceptable y mala respectivamente, mientras que la línea continua representa el límite máximo permisible para  $PM_{2.5}$  que se establece en la NOM-025-SSA1-2004.

Una vez identificadas las etapas de los procesos de cocción se asociaron con tiempos de duración para cada categoría de la calidad del aire con base en el índice Aire y Salud (Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud), y así determinar el tiempo asociado al riesgo.

Por último, para establecer el tiempo que una persona se encuentra en confort o confort inaceptable ( $CO_2$ ) durante el evento de cocción, se utilizó la mediana como medida de tendencia central de su comportamiento. Se calculó el tiempo que el gas tarda en superar al límite recomendado por la ASHRAE en su estándar 62-200 y el



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



tiempo que dura en retornar a una concentración aceptable para una cocción corta o larga.

### b) Actividad de barrer.

Para la actividad de barrer se utilizó la mediana de las concentraciones por minuto como medida de tendencia central para representar la concentración en cada minuto. El proceso se dividió en 6 etapas (Figura 2) que se calcularon a través de la identificación de la concentración máxima y tiempo de retorno que se visualizaron después del análisis de tendencia de la actividad y son: a) Etapa 1 (Cf inicial), b) Etapa 2 (Periodo de activación), c) Etapa 3 (Tiempo de decaimiento alto hasta niveles de norma), d) Etapa 4 (Tiempo de decaimiento bajo) y e) Etapa 5 (Cf final).

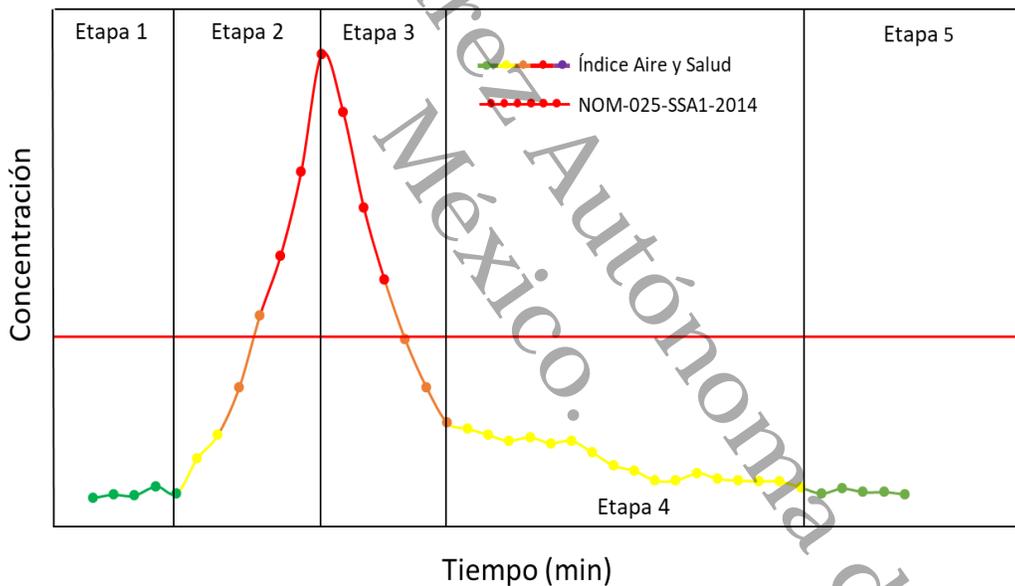


Figura 2. Tendencia del  $PM_{10}$  para la actividad de barrer. Los colores verde, amarillo, naranja y rojo indican una calidad del aire buena, aceptable, mala y muy mala respectivamente.

Debido a que esta actividad se hizo con diferentes formas de barrer, el tiempo que dura la actividad no fue considerado para el estudio, sino más bien el tiempo en el cual las concentraciones de material particulado están suspendidas. Para tener un acercamiento más puntual se requeriría de más información.

Una vez identificadas las etapas del proceso de barrer, se asociaron con tiempos de duración para cada categoría de la calidad del aire con base en el índice Aire y



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

Salud (Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud), y así determinar el tiempo asociado al riesgo.

### c) Actividad de sanitizar

Para el análisis del proceso de sanitizar, este se clasificó en diferentes tiempos y condiciones, es decir, las simulaciones se pueden realizar para tiempos de 4 y 10 segundos en un espacio con ventilación y sin ventilación. Se utilizó la mediana como medida de tendencia del comportamiento y se calcularon las concentraciones máximas y tiempos de retorno (ecuación 2). Se identificó que la ventilación es significativa para las concentraciones de  $\text{CH}_2\text{O}$  y sus tiempos de retorno.

Con ventilación, se observó que la serie temporal del  $\text{CH}_2\text{O}$  puede subdividirse en 5 etapas para los periodos de 4 y 10 segundos de aplicación de sanitizante (Figura 3), las cuales son: a) Etapa 1 (Cf inicial), b) Etapa 2 (periodo de activación y decaimiento alto), c) Etapa 3 (periodo de riesgo), d) Etapa 4 (periodo de decaimiento bajo) y e) Etapa 5 (Cf final). Cada etapa se calculó a través de la identificación de la concentración máxima y tiempos de retorno que se visualizaron después del análisis de tendencia de la actividad.

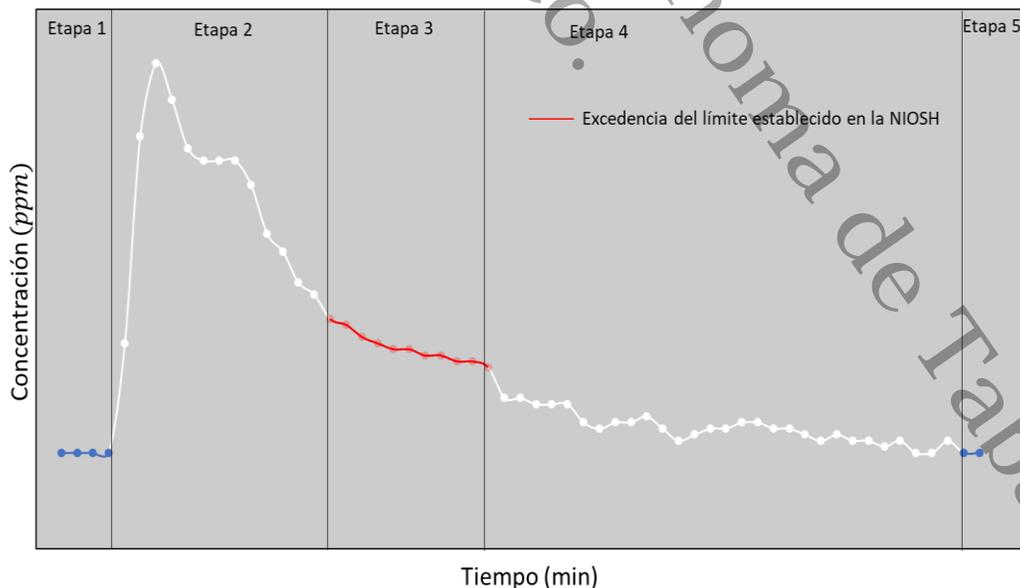


Figura 3. Tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  para el evento de sanitizar con ventilación. La sección blanca indica las concentraciones de  $\text{CH}_2\text{O}$  durante la actividad, mientras que la sección roja indica



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

*el periodo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos.*

Cuando la actividad se realiza sin ventilación, debido a que las concentraciones del CH<sub>2</sub>O fueron muy altas y los tiempos de retorno fueron demasiado extensos, no se dividió el proceso en etapas. Sin embargo, se identificó como una actividad altamente peligrosa para la salud de las personas. El riesgo fue determinado con base en el promedio de 15 minutos de exposición que establece el NIOSH y el límite de 0.3 ppm que establece la ACGIH.

### **4.4 Desarrollo de la aplicación**

La programación de la aplicación se desarrolló con base a una metodología espiral de desarrollo de software (Pressman, 2010). La primera versión del software fue un prototipo que se presentó a un profesor, dos estudiantes y dos profesionistas del área ambiental, dando como resultado la primera mejora al recibir su retroalimentación. La mejora se hizo principalmente en la presentación y distribución de los elementos que aparecen en pantalla una vez iniciada la simulación.

#### **4.4.1 Selección de lenguaje de programación**

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó el lenguaje de programación “*Blueprints Visual Scripting*” que permite programar para los sistemas operativos de dispositivos móviles más conocidos (iOS y Android) a través de un sistema de interfaz basada en nodos para crear elementos de juego desde un editor mediante el software Unreal Engine 4. Adicionalmente, se utilizó 3ds Max para el diseño en 3D de algunas estructuras del inmueble que se muestran en la aplicación durante la simulación.

#### **4.4.2 Programación de AirCas**

Para el desarrollo de la aplicación se consideraron los criterios de usabilidad. La aplicación presenta dos entornos diferentes, uno de simulación para mostrar como las actividades afectan la calidad del aire interior y otro de aula virtual que permite a los usuarios reforzar sus conocimientos sobre calidad del aire.



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

Para el entorno de simulación se diseñaron y programaron tres habitaciones en 3d: Cocina, Sala y Baño, donde se simulan las actividades de cocinar, barrer y sanitizar, respectivamente. En el aula virtual, se incluyó información acerca de contaminantes atmosféricos, fuentes de emisión y estrategias de mitigación, así como un juego de preguntas y respuestas.

### **4.5 Despliegue de la aplicación**

Una vez concluida la aplicación, se presentó como una herramienta para la concientización de la población de los efectos que tienen en la salud y el ambiente algunas actividades que se realizan en el hogar, a seis profesores y 35 estudiantes de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) debido a su experiencia en el área ambiental. Los estudiantes se seleccionaron con base en los grupos disponibles de los profesores Elizabeth Magaña y Jesús Manuel Carrera. Para la elección de los profesores se escogió una muestra aleatoria de 10 profesores de los cuales solo se encontró a 6 de ellos. Se diseñó una encuesta en los formularios de Google para obtener retroalimentación e identificar si se cumple con el objetivo de concientización.



---

## Capítulo 5. Resultados

---

Logo de AirCas: el triángulo seccionado por una línea horizontal simboliza el aire, las sombras formadas por la paleta de colores se asocian al índice de calidad del aire.





## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*



De acuerdo con investigaciones previas, la calidad del aire en espacios cerrados está fuertemente influenciada por sus fuentes, entre las más comunes son las actividades humanas de resuspensión (limpieza, caminar, etc) (Thatcher y Layton, 1995), fuentes de combustión (fumar, usar velas, pero particularmente la cocina), aromatización con el uso de aerosoles sanitizantes (Vázquez *et al.*, 2019) entre otras. Por lo que se decidió estudiar los procesos de cocinar ( $PM_{2.5}$ ,  $CO_2$ ), barrer ( $PM_{10}$ ) y sanitizar ( $CH_2O$ ) en los entornos de cocina, sala y baño respectivamente. A pesar de que cada actividad depende de muchos factores, existen patrones evidentes de comportamiento entre las actividades y la calidad del aire interior. Los monitoreos analizados mostraron que cuando se cocina, las concentraciones de  $PM_{2.5}$  alcanzan valores máximos de hasta 2.7 veces la Cf si el proceso es corto, mientras que 5.7 si es largo. Por otro lado, para la actividad de barrer, las concentraciones de  $PM_{10}$  se elevaron 4.2 veces la Cf.

### **5.1 Asociación de la calidad del aire para el proceso de cocción con base en $PM_{2.5}$ y $CO_2$**

#### **A) $PM_{2.5}$**

A continuación, la figura 4a muestra la tendencia de  $PM_{2.5}$  durante la actividad de cocción. Se observa que las concentraciones por minuto se elevan significativamente en los primeros minutos al activar la fuente, teniendo variaciones durante el tiempo que dura la actividad, y ese comportamiento se modeló con base en un valor representativo (percentil 75), de manera que el tiempo que dura la actividad, las altas concentraciones se mantienen constantes como se muestra en la figura 5.

En la figura 5 se muestra el comportamiento del  $PM_{2.5}$  para el proceso de cocción corto, utilizando el procesamiento de homologación de datos de cocción (Tabla 2).

Se identificó una concentración de fondo con un valor de  $25 \mu g/m^3$ . Al incrementar las concentraciones debido a la cocción, se alcanza un valor representativo de 70



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el percentil 75. Al terminar la actividad, la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  comenzó a decrecer hasta llegar a un punto en el que se desacelera ese retorno hasta llegar a las concentraciones de fondo después de 6 minutos.

Adicionalmente, se registraron tiempos de 1, 17, 1 y 5 minutos para las etapas 2, 3, 4 y 5 respectivamente (figura 4a).

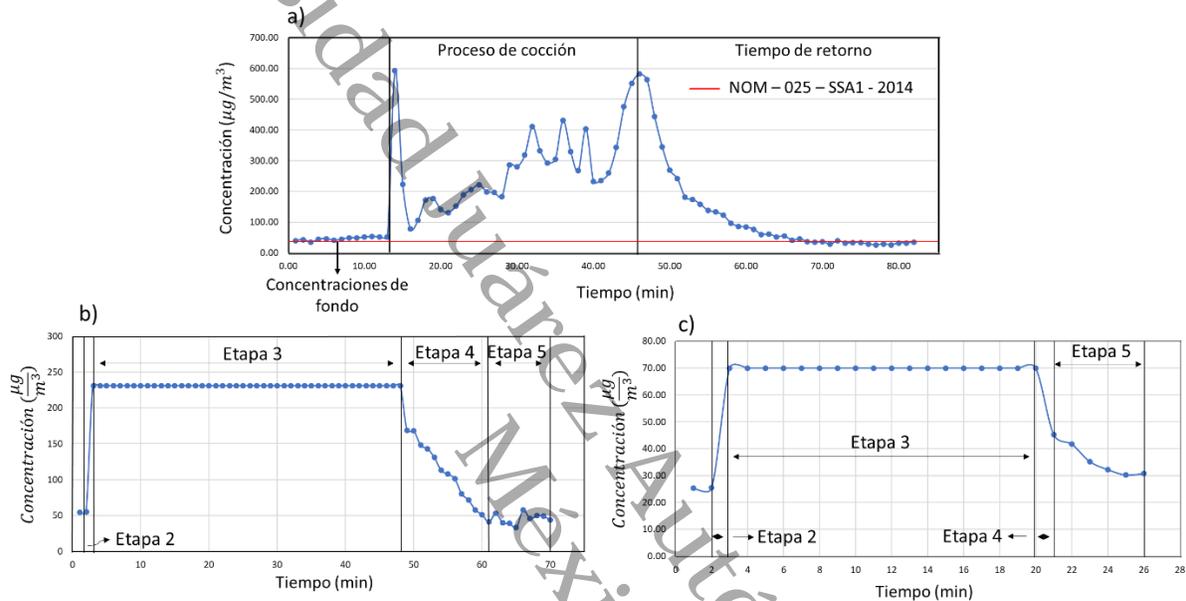


Figura 4. Duración de cada etapa del proceso de cocción y comportamiento del  $\text{PM}_{2.5}$ . a) Duración de las etapas en el proceso de cocción corta, b) Duración de las etapas en el proceso de cocción larga y c) Comportamiento del  $\text{PM}_{2.5}$  en una actividad de cocción.

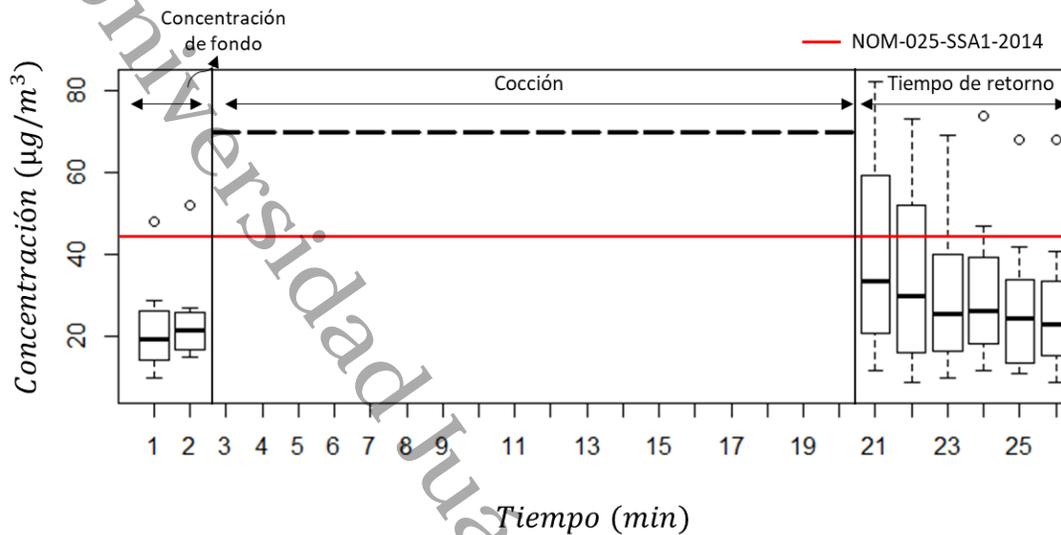


Figura 5. Tendencia del  $PM_{2.5}$  para el proceso de cocción corta.

Por otro lado, la calidad del aire con base en  $PM_{2.5}$  se sobrepasó con respecto a la NOM-025-SSA1-2014 durante la cocción. De igual forma, la calidad del aire permaneció en la clasificación de buena, aceptable y mala calidad del aire durante 2, 10 y 18 minutos respectivamente en todo el periodo de análisis.

En la figura 6 se muestra el comportamiento del  $PM_{2.5}$  para el proceso de cocción larga. Las concentraciones se elevan al activar la fuente hasta llegar a un valor representativo de  $231 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el percentil 75. Al terminar la actividad, la concentración disminuye alcanzando un tiempo de retorno de 22 minutos.

Por otro lado, la calidad del aire con base en  $PM_{2.5}$  se sobrepasó con respecto a la NOM-025-SSA1-2014 durante el proceso de cocción y parte del tiempo de retorno. De igual forma, permaneció en las categorías aceptable, mala, muy mala y extremadamente mala calidad del aire durante 14, 23, 6 y 49 minutos respectivamente en todo el periodo de análisis. Adicionalmente, se registraron tiempos de 1, 46, 13 y 9 minutos para las etapas 2, 3, 4 y 5 respectivamente (figura 4b).



# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

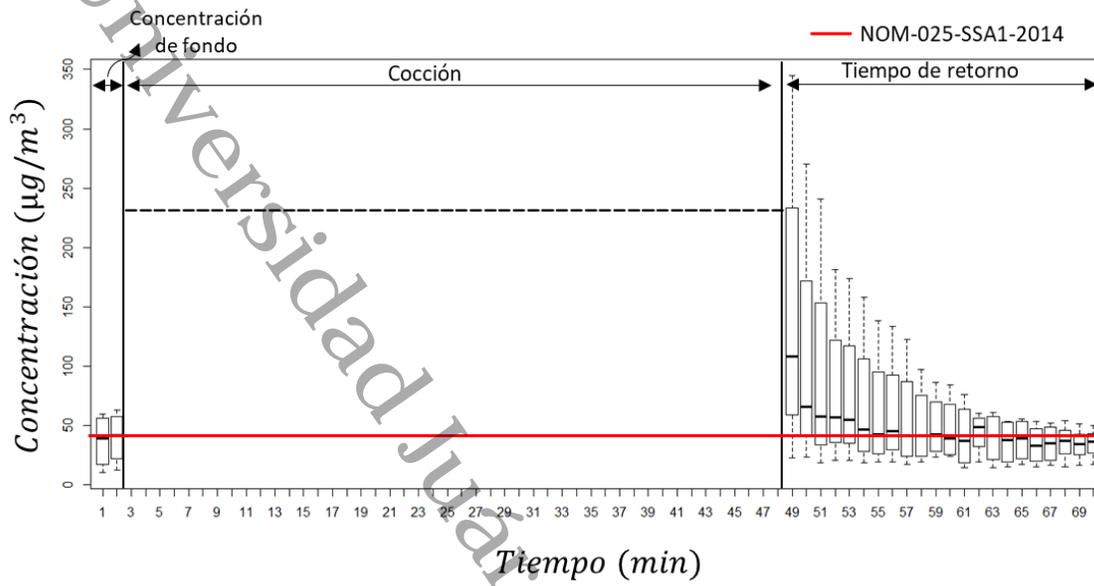


Figura 6. Tendencia del  $\text{PM}_{2.5}$  para el proceso de cocción largo.



## B) CO<sub>2</sub>

A continuación, en las figuras 7 y 8, se muestra el comportamiento por minuto del parámetro de confort CO<sub>2</sub> para los procesos de cocción corta y larga con base en el ASHRAE 62-2001, el cual se establece como límite en las gráficas con una línea roja.

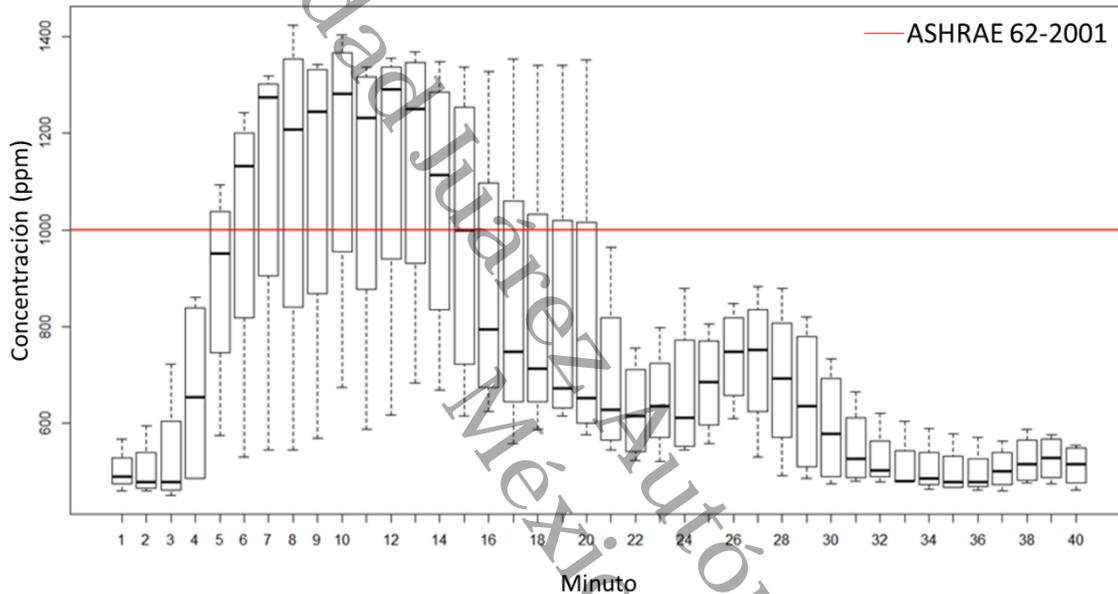


Figura 7. Tendencia del CO<sub>2</sub> en el proceso de cocción corto.

En la figura 7 se muestra la tendencia del CO<sub>2</sub> en cocción corta con respecto al tiempo, alcanzando valor representativo de 1291 ppm superando el límite recomendado por la ASHRAE. Posteriormente, las concentraciones disminuyen a los valores típicos de fondo (500 – 700 ppm) después de un tiempo de retorno de 23 minutos. De igual forma, en la figura 8 se puede apreciar que, para el proceso de cocción larga, los niveles de CO<sub>2</sub> superan el límite recomendado por la ASHRAE con un valor de 1294 ppm y se obtuvo un tiempo de retorno de 37 minutos.

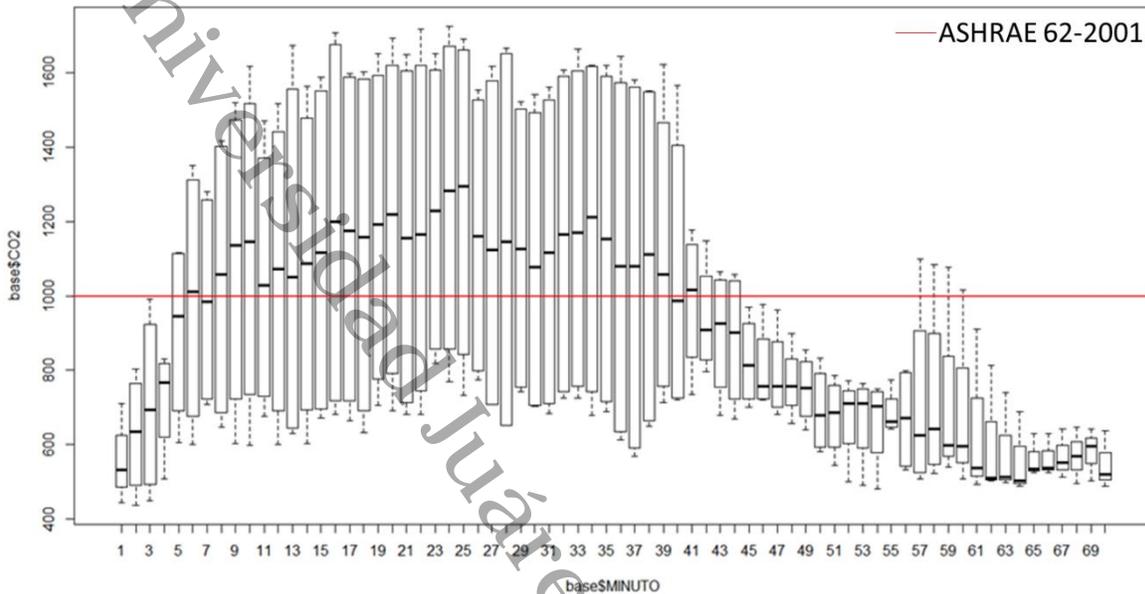


Figura 8. Tendencia del CO<sub>2</sub> en el proceso de cocción larga.

## 5.2 Asociación de la calidad del aire para el proceso de barrer con base en PM<sub>10</sub>.

Del análisis de tendencia para la actividad de barrer, se puede apreciar el comportamiento del contaminante PM<sub>10</sub>. En la figura 9 se muestra la tendencia de las concentraciones por minuto para la actividad de barrer. Se obtuvo una concentración de fondo de 41 µg/m<sup>3</sup>.

En la figura 9 se puede apreciar que después de iniciar la actividad, la concentración se eleva hasta alcanzar un valor representativo de 176 µg/m<sup>3</sup>. Finalmente, la concentración disminuye hasta las concentraciones de fondo después de 36 minutos.

Se registraron tiempos de 12, 11, 8 y 19 minutos para las etapas 2, 3, 4 y 5 respectivamente.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



Por otro lado, se puede observar que el contaminante sobrepasó la NOM-025-SSA1-2014 de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De igual forma, la calidad del aire se mantuvo en buena, aceptable, mala y muy mala durante 6, 23, 16 y 1 minuto respectivamente de acuerdo con el índice Aire y Salud, desde el momento en que inicia la actividad, hasta que se termina.

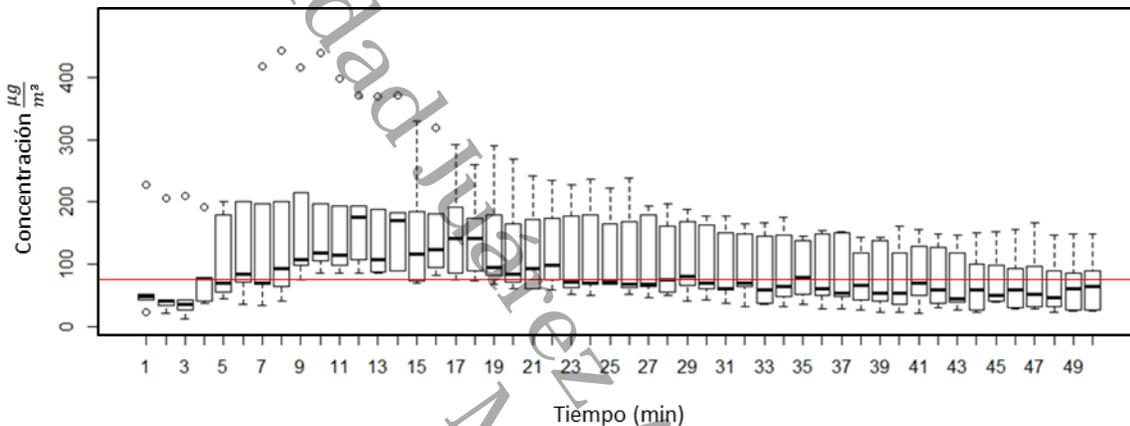


Figura 9. Tendencia del  $\text{PM}_{10}$  para la actividad de barrer.

### 5.3 Asociación de la calidad del aire para el proceso de sanitizar con base en $\text{CH}_2\text{O}$ para espacios cerrados con y sin ventilación.

#### A) Espacio con ventilación

En la figura 10, se muestra el comportamiento general del  $\text{CH}_2\text{O}$  en un espacio con ventilación en el que se aplicó el sanitizante durante 4 segundos. Se puede apreciar un aumento en las concentraciones hasta llegar a una concentración máxima de 0.14 ppm después de 5 minutos. Eventualmente, la concentración comienza a disminuir hasta llegar a sus concentraciones de fondo al pasar 41 minutos.

Se registraron tiempos de 15, 5 y 26 minutos para las etapas 2, 3, y 4 respectivamente. Por otro lado, se puede observar que el contaminante no sobrepasó los límites recomendados por la ACGIH de 0.3 ppm. Sin embargo, el contaminante sobrepasó por 5 minutos el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

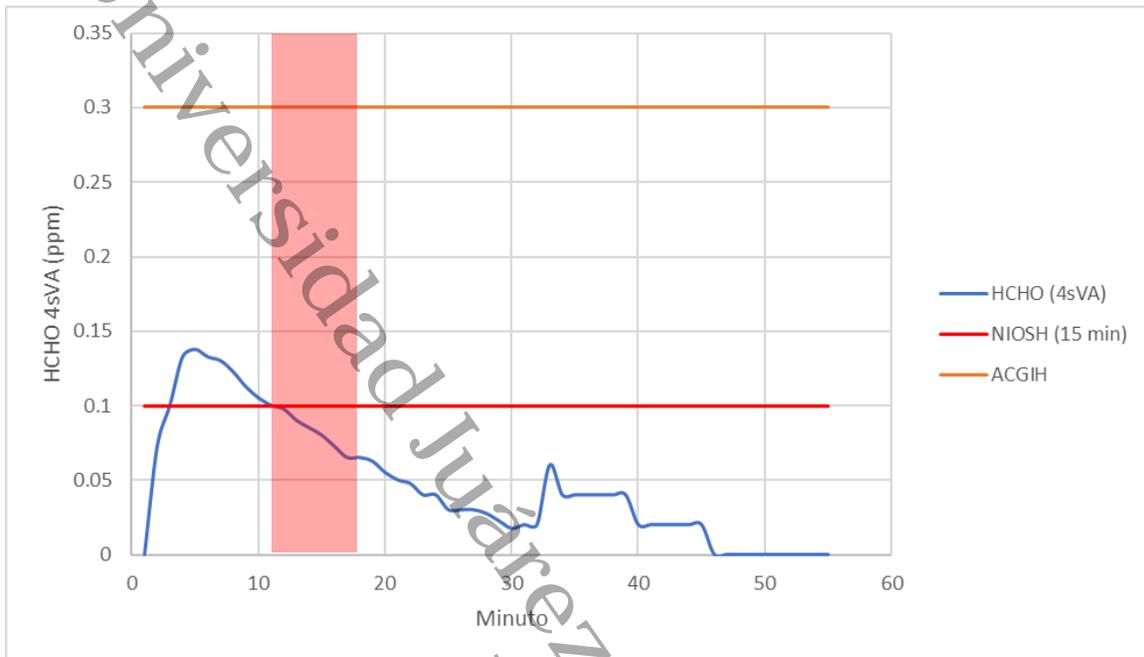


Figura 10. Tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  con aplicación de 4 segundos en un espacio con ventilación. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos.

La figura 11 muestra la tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  en el que se aplicó el sanitizante por 10 segundos en un espacio con ventilación. Observamos cómo la concentración aumenta hasta llegar a 0.3 ppm después de 4 minutos de iniciar la actividad alcanzando el límite recomendado por la ACGIH de 0.3 ppm. Igualmente sobrepasó por 11 minutos el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. Eventualmente, la concentración comienza a disminuir hasta llegar a las concentraciones de fondo después de 52 minutos. Adicionalmente, se registraron tiempos de 14, 11 y 27 minutos para las etapas 2, 3 y 4 respectivamente.

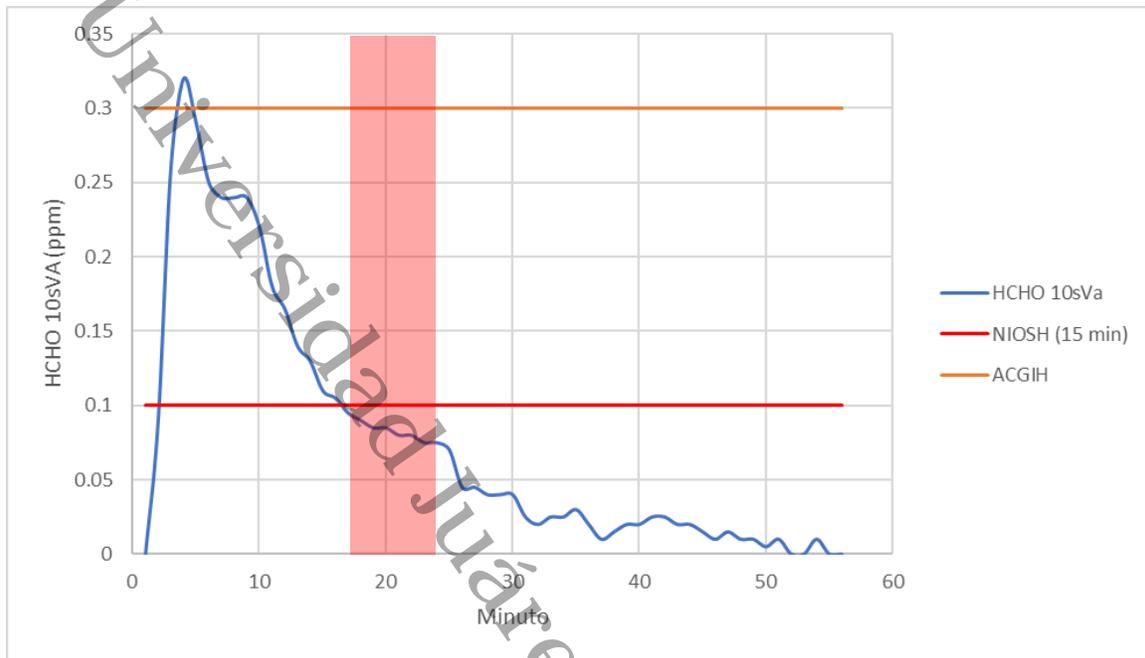


Figura 11. Tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  con aplicación de 10 segundos en un espacio con ventilación. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos.

## B) Espacio sin ventilación

En la figura 12 se muestra la tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  en el que se aplicó el sanitizante durante 10 segundos en un espacio sin ventilación. Se puede apreciar el aumento de la concentración del  $\text{CH}_2\text{O}$  después de iniciar la actividad hasta llegar a 0.74 ppm después de 3 minutos, superando peligrosamente el límite recomendado por la ACGIH de 0.3 ppm. Igualmente, la concentración supera por más de 10 horas el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos, esto debido a la nula ventilación del lugar. Después de alcanzar la concentración máxima, los niveles de formaldehído comienzan a disminuir de forma lenta hasta llegar 0.09 ppm luego de aproximadamente 12 horas. No se tiene un registro de tiempo hasta niveles de fondo debido a que el periodo de tiempo de retorno se extendió demasiado y no se pudo continuar el monitoreo.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

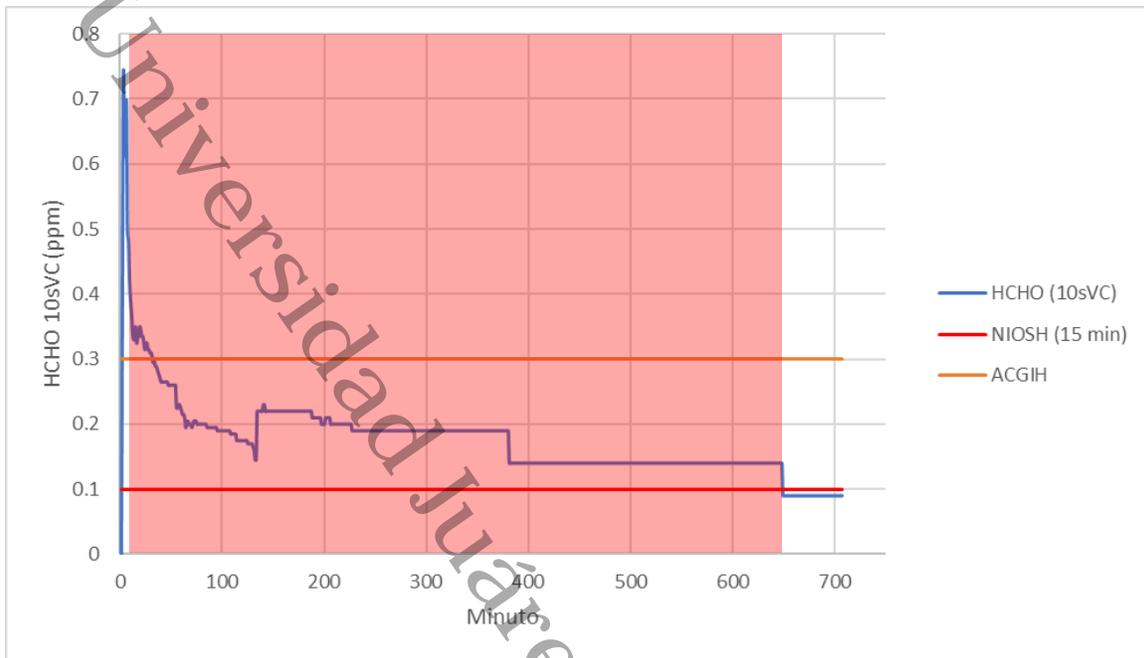


Figura 12. Tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  con aplicación de 10 segundos en un espacio sin ventilación. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos.

A continuación, en la figura 13, se muestra el comportamiento del  $\text{CH}_2\text{O}$  después de sanitizar durante 4 segundos en un espacio sin ventilación. Se puede apreciar el aumento en la concentración hasta llegar a 0.21 ppm después de 7 minutos sin alcanzar el límite recomendado por la ACGIH de 0.3 ppm. Sin embargo, superó durante 134 minutos, el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos. Eventualmente, el nivel de formaldehído empieza a disminuir hasta llegar a 0.02 ppm después de aproximadamente 6 horas. No se tiene un registro de un tiempo de retorno hasta una concentración de fondo debido a que el tiempo se extendió demasiado como para continuar el monitoreo.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

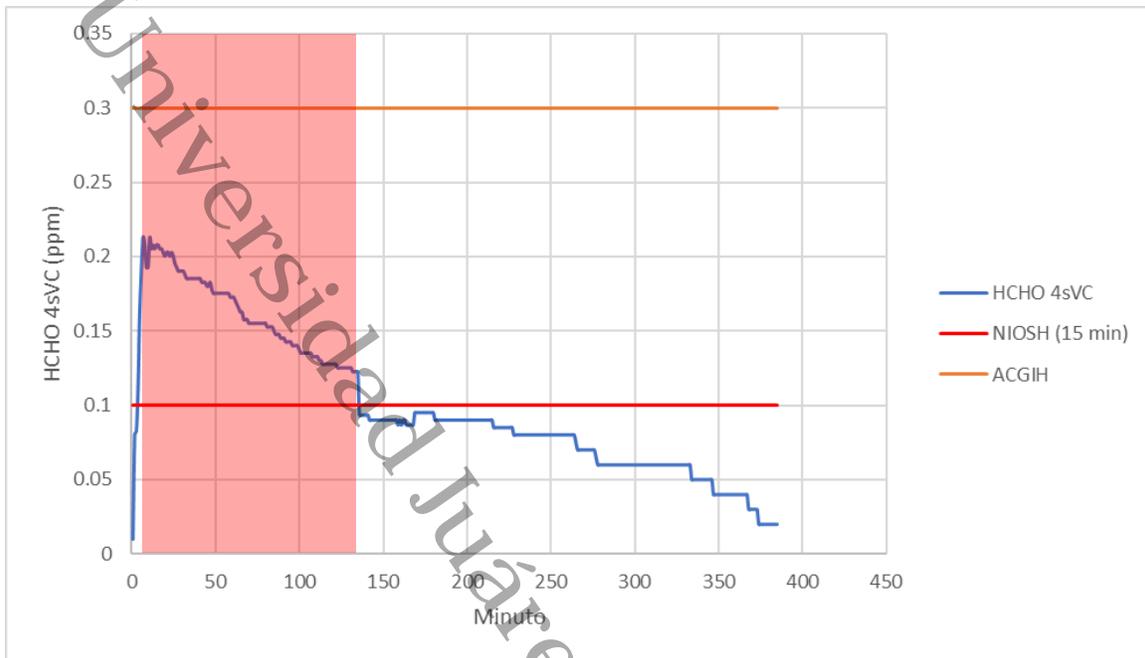


Figura 13. Tendencia del  $\text{CH}_2\text{O}$  con aplicación de 4 segundos en un espacio cerrado. El espacio sombreado indica el tiempo que sobrepasó el límite recomendado por el NIOSH que establece un valor umbral de 0.1 ppm por un periodo de exposición de 15 minutos.



# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

## 5.4 AirCas

Se obtuvo una aplicación (figura 14) para la concientización de la población de los problemas de calidad del aire en interiores por actividades cotidianas considerando los criterios de usabilidad.

**CERTIFICADO**

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** CARRERA VELUETA JESUS MANUEL  
MAGAÑA VILLEGAS ELIZABETH  
NAVARRO KAUIL JIMMY

**TITULO:** AIRCAS

**RAMA:** PROGRAMAS DE COMPUTACION

**TITULARES:** CARRERA VELUETA JESUS MANUEL  
MAGAÑA VILLEGAS ELIZABETH  
NAVARRO KAUIL JIMMY

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

---

Número de Registro: 03-2019-082310500500-01

---

México D.F., a 26 de agosto de 2019

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ

SECRETARÍA DE CULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR  
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR



Figura 14. Registro público de derechos de autor de AirCas.



# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



Figura 15. Menú principal de AirCas.

La App se nombró AirCas: Air de aire y Cas por las siglas de cooking (cocinar), aromatize (aromatizar) y sweep (barrer).



Figura 16. Menú de selección de habitaciones.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

La ventana principal (Figura 15) muestra dos botones para acceder a dos entornos diferentes: simulación y aula virtual, de igual forma, se presenta el logo principal de AirCas que consiste en un triángulo seccionado por una línea horizontal con una sombra formada por los colores del índice aire y salud que representan el aire y sus diferentes niveles de calidad. En el entorno de simulación se presenta el diseño de una sala en 3d (Figura 16) que presenta un menú que permite acceder a los diferentes escenarios para simular cada actividad, así como un tutorial en el que el usuario puede ingresar para ver de forma más detallada los elementos que se encuentran en la pantalla durante la simulación.

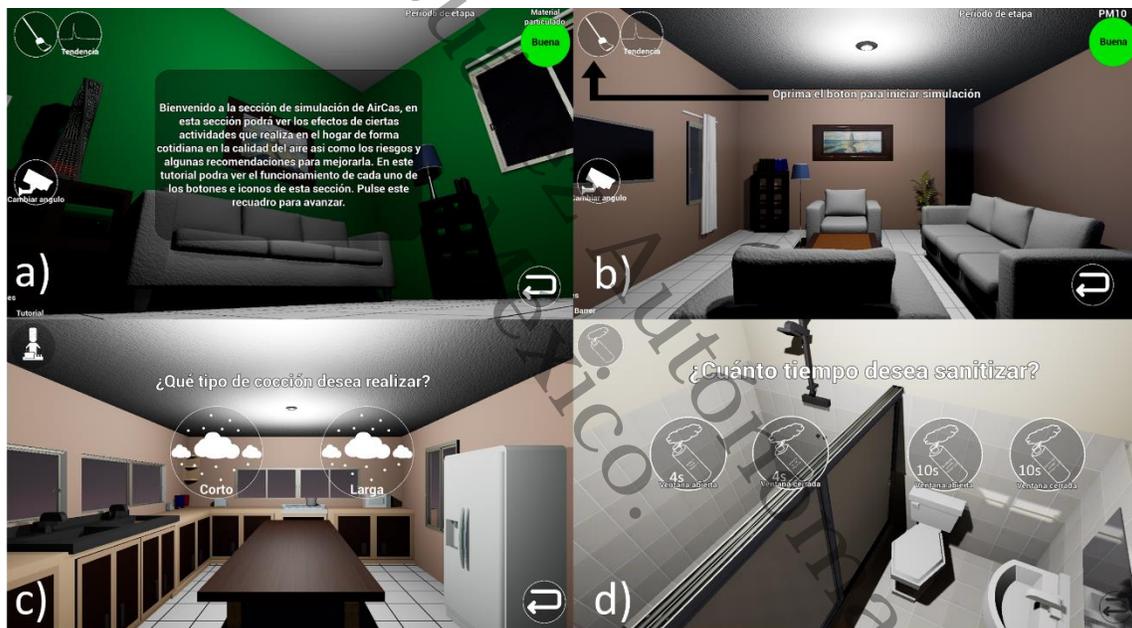


Figura 17. Opciones para simular. a) Tutorial, b) Sala, c) Cocina y d) Baño.

Al seleccionar un escenario, se presenta una habitación en 3d con la opción en pantalla de iniciar la simulación de la actividad o una de sus diferentes variaciones: tutorial (Figura 17 a), sala (Figura 17 b), cocina (Figura 17 c) y baño (Figura 17 d).

Al iniciar la simulación de una actividad, se presentan elementos en pantalla (Figura 18) para la interacción con la AirCas y se estructuran como se muestra en la tabla 3.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

Durante la simulación aparecen partículas suspendidas en la pantalla que indican el incremento del material particulado debido a la actividad que se esté simulando, y éstas cambian de color de acuerdo a la calidad del aire que se presenta en cada etapa. De igual forma, para la simulación de cocción, se presenta un efecto de nubosidad que indica el aumento o disminución del CO<sub>2</sub> producido por esta actividad (Figura 18).

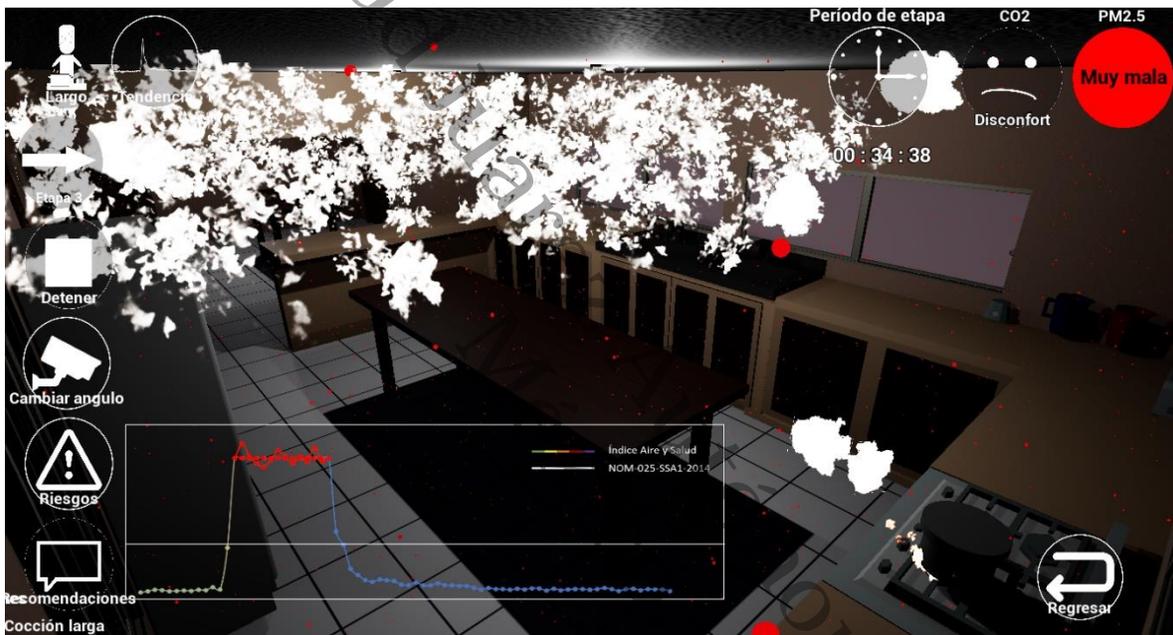


Figura 18. Elementos en pantalla durante la simulación.



# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



Tabla 3. Elementos en pantalla durante simulación.

Elementos en pantalla durante simulación		
Elemento	Descripción	Icono
Botón de inicio	Inicia la actividad que se tenga seleccionada y el diseño cambia de acuerdo a ésta.	
Botón de adelantar	Funciona para avanzar en las diferentes etapas que tiene cada actividad.	
Botón de detener	Detiene la actividad que se esté simulando en cualquier momento del proceso.	
Botón de cambio de ángulo	Desplaza la vista de la cámara en cuatro diferentes vistas que se tienen en cada habitación.	
Botón de riesgos	Muestra los riesgos a la salud que se tienen durante cada etapa de la simulación.	
Botón de recomendaciones	Muestra las recomendaciones que se pueden seguir para disminuir los niveles de contaminación que se presentan en cada etapa de la simulación.	
Botón de tendencia	Despliega una gráfica que indica la tendencia del contaminante con los colores del índice aire y salud en las diferentes etapas de la simulación.	
Cronómetro	Indica el tiempo que dura cada etapa.	
Icono de calidad del aire	Muestra la calidad del aire que se presenta en cada etapa de la simulación.	
Icono de confort-confort inaceptable	Muestra si se presenta confort o confort inaceptable durante las etapas de la simulación.	
Botón de regresar	Regresa a la pantalla de selección de eventos para ingresar a otra habitación	

## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

En el entorno de aula virtual (Figura 19 a) se presenta un menú en donde el usuario puede acceder a una pequeña biblioteca virtual que contiene información relacionada con la calidad de aire (Figura 19, b). Además, se incorporó un minijuego (Figura 19 c) en el que se deben responder 15 preguntas relacionadas con la calidad del aire que se formulan de forma aleatoria para ganar un premio ficticio de 1 millón de pesos (figura 19 d).

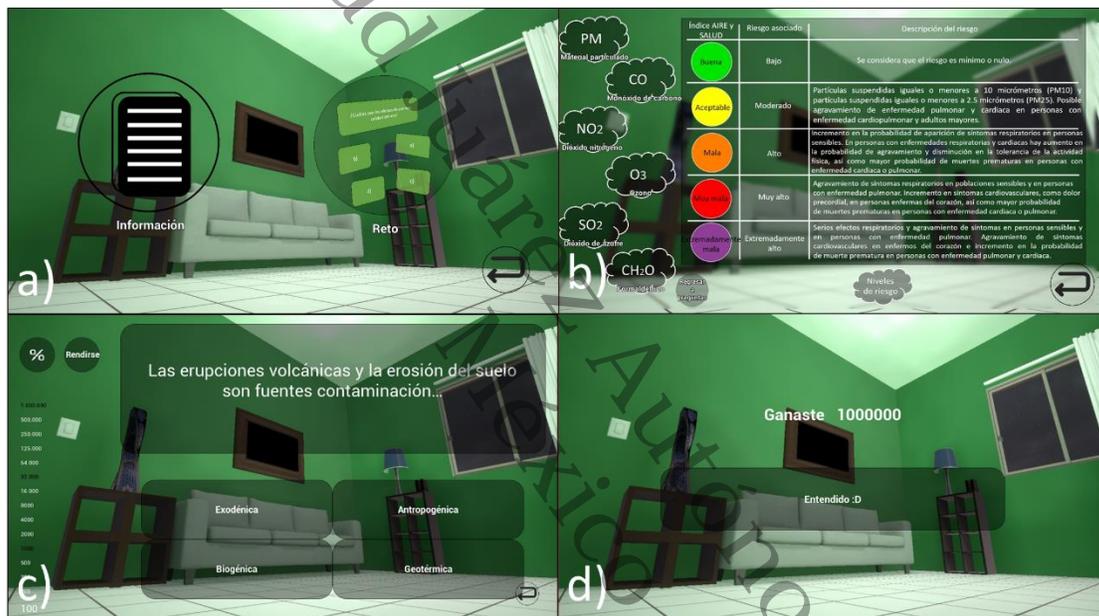


Figura 19. Contenido del aula virtual. a) Menú principal, b) Información de calidad del aire, c) Juego de preguntas y d) Premio ficticio.



### 5.3 Validación de AirCas

AirCas fue presentado a profesores y alumnos (Figuras 20 y 21) de la División Académica de Ciencias Biológicas. En la misma presentación se realizó una encuesta digital, que sirvió para evaluar la percepción sobre AirCas con referencia a los criterios de usabilidad, que fue respondida por 18 de 35 estudiantes de los grupos disponibles de los profesores Elizabeth Magaña y Jesús Manuel Carrera, así como 5 profesores.



*Figura 20. Presentación de AirCas a alumnos.*



*Figura 21. Presentación de AirCas a profesores.*



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

De acuerdo a la figura 22, el 55 % de los alumnos a los que se les presentó el trabajo respondieron que estaban muy satisfechos con la app y el 16 % que estaban extremadamente satisfechos. Para la presentación del contenido de la app como el tamaño de letra, colores e iconos, el 33 % considera que es muy buena mientras que el 44 % que es buena. Además, en cuanto a la distribución del contenido que se presenta en la aplicación, el 44 % percibió que es muy buena y el 38 % que es buena. Por otra parte, el 38 % de los alumnos piensa que la distribución de los botones es buena y el 33 % que es muy buena. En cuanto a la navegación a través de AirCas, el 61 % de los alumnos considera que muy fácil mientras que el 33 % respondió que es fácil.

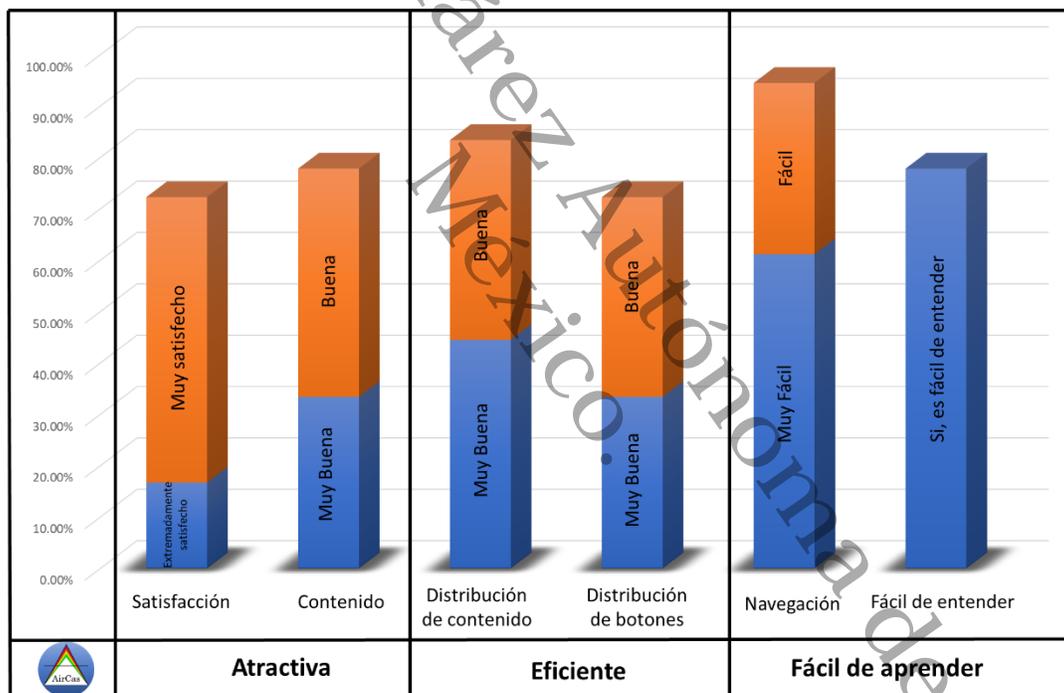


Figura 22. Resultados de la encuesta a alumnos.

En términos generales, la aplicación recibió respuestas satisfactorias por lo que se presume que AirCas es atractiva, eficiente y fácil de aprender.

Considerando que la app tiene como propósito concientizar a las personas, en la encuesta se incluyeron preguntas para identificar si cumple con el objetivo de concientizar.



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

En el proceso de mostrar la aplicación, el 82 % de los potenciales usuarios (Figura 23) manifestaron sentir un cambio en su percepción con respecto a la calidad del aire en interiores. Es importante resaltar que el 68 % de las personas, no estaban conscientes de los problemas de contaminación en el interior derivado de actividades domésticas, de los cuales el 90 % manifestó un cambio en su percepción por lo que se presume que la app es una estrategia eficaz para este propósito.

Por último, el 50 % de los alumnos mencionaron (Figura 24) que es muy probable que recomienden la app a otra persona y el 38 % mencionó que probablemente haría lo mismo. Sin embargo, el 5 % mencionó que es poco probable que recomiende la app y el 5 % restante que es nada probable que la recomiende.

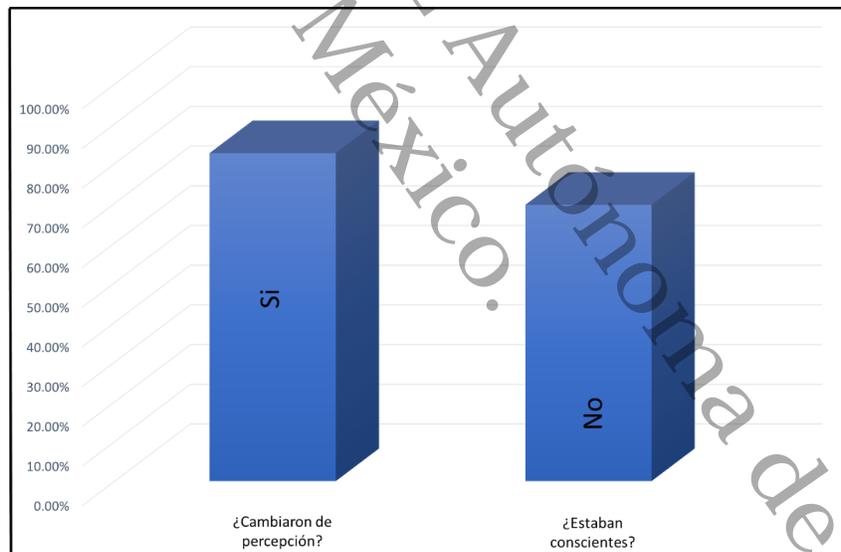


Figura 23. Percepción de calidad del aire en interiores por actividades domésticas.

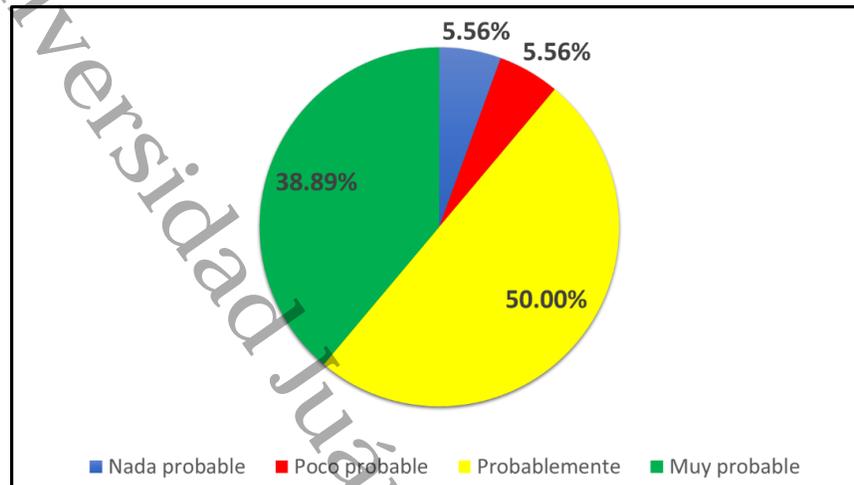


Figura 24. Probabilidad de recomendación de AirCas a otras personas.



## **Capítulo 6. Conclusión**

Los monitoreos analizados mostraron que cocinar, barrer y sanitizar elevan significativamente las concentraciones de contaminantes en el aire interior. Con respecto a material particulado, la cocción larga es la actividad que mayor riesgo genera por los tiempos prolongados que mantienen una mala calidad del aire con respecto a  $PM_{2.5}$ , mientras que barrer, fue la actividad menos peligrosa, ya que el tiempo expuesto a un riesgo es menor a la de otras actividades. Además, en la cocción, independientemente de la duración, las concentraciones de  $CO_2$  supera el límite recomendado por la ASHRAE requiriendo un tiempo equivalente al de la duración de la cocción para retornar a las concentraciones de fondo.

Sanitizar puede ser altamente riesgoso por las altas concentraciones de  $CH_2O$  cuando se atomiza por un tiempo prolongado (10 segundos) y con nula ventilación, alcanzando tiempos de retorno a concentraciones de fondo de más de 10 horas.

La aplicación AirCas, dadas sus características de usabilidad y contenido, facilitará a los usuarios el acceso y consulta de información sobre la problemática de la calidad del aire en interiores debido a actividades cotidianas. En particular, le permitirá identificar las actividades cotidianas que ponen en riesgo su salud, favoreciendo un cambio de comportamiento que contribuya a prevenir daños en el sistema respiratorio, circulatorio, etc., y que refleje respeto al ambiente.



## Referencias bibliográficas

Abdul-Wahab, S. A., En, S. C. F., Elkamel, A., Ahmadi, L., & Yetilmezsoy, K., (2015). A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. *Atmospheric Pollution Research*. 6(5), 751-767.

App Annie. (2017). 2017 Retrospective: A Monumental Year for the App Economy. Recuperado de: <https://www.appannie.com/en/insights/market-data/app-annie-2017-retrospective/>

Allen, Jonathan P. (2003). "The evolution of new mobile applications: a sociotechnical perspective". *International journal of electronic commerce*, v. 8, n. 1, pp. 23-36.

Albanesi, M.L. & Lago, N. (2011). Percepción ambiental de los alumnos de escuelas primarias de la CABA, Defensoría del pueblo de la ciudad de Buenos Aires. Recuperado de: [www.defensoria.org.ar/areastematicas/pdf/percepcionambiental.pdf](http://www.defensoria.org.ar/areastematicas/pdf/percepcionambiental.pdf)

Amitai, Y., Zlotogorski, Z., Golan-Katzav, V., Wexler, A., Gross, D., (1998). Neuropsychological impairment from acute lowlevel exposure to carbon monoxide. *Archives of Neurology* 55 (6), 845-848.

American Society of Heating, Refrigerating, Air-conditioning Engineers, Inc., ASHRAE. Standard 62-2001 ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta: ASHRAE; 2002 <http://www.ashrae.org>.

Anderson H. (2009). Air pollution and mortality: a history. *Atmospheric Environment* 43, 142-52.

Andrade, M. (2017). Contaminación del Aire Ambiental | OPS OMS. Pan American Health Organization / World Health Organization. Recuperado de: [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918%3A2017-ambient-air-pollution&catid=2619%3Aenvironmental-health&Itemid=42246&lang=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918%3A2017-ambient-air-pollution&catid=2619%3Aenvironmental-health&Itemid=42246&lang=es).

Ballesteros Arjona, V. y Daponte Codna, A. (2011). Calidad del aire interior. España: Junta de Andalucía; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN); Unión Europea. Consultado el 30/sep/2019 en: [http://www.osman.es/download/guias/osman/cai\\_osman.pdf](http://www.osman.es/download/guias/osman/cai_osman.pdf)

Bhangar, S., Mullen, N., Hering, S., Kreisburg, N., Nazaroff, W., (2011). Ultrafine particle concentrations and exposures in seven residences in northern California. *Indoor Air* 21, 132-144.

Boldo, E., Medina, S., Letertre, A., Hurley, F., Mucke, H.G., Ballester, F., Aguilera, I. and Eilstein, D. (2006). Apehis: health impact assessment of long-term



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital

exposure to pm2.5 in 23 european cities. *European Journal of Epidemiology* 21, 449–458.

Catalán-Vázquez, M., Riojas-Rodríguez, H., Jarillo-Soto, E. C., & Delgadillo-Gutiérrez, H. J. (2009). Percepción de riesgo a la salud por contaminación del aire en adolescentes de la Ciudad de México. *Salud Publica de Mexico*, 51(2), 148–156. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342009000200011>

Cogliano, V.J., Grosse, Y.; Baan, R.A, Straif, K., Secretan, M.B., El Ghissassi, F. & The Working Group For Volume 88. (2005). Meeting Report: Summary of IARC Monographs of Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-Propanol. *Environmental Health Perspectives*, 113(9): 1205-1208. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1280402/>

Coultas, D.B., Lambert, W.E. (1991). Carbon monoxide. En: Sanet, J.M., Spengler, J.D. (Eds.). *Indoor Air Pollution: A Public Health Perspective*. pp. 187-208. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

Elkamel, A., Ahmadi, L., & Yetilmezsoy, K., (2015). A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. *Atmospheric Pollution Research*. 6(5), 751-767.

Environmental Protection Agency. (s.f.). *Introduction to Indoor Air Quality*. 05 marzo 2018, de EPA Sitio web: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>.

Fernández, M.Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en áreas naturales protegidas. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, XV (43), 179-202.

García, G. M., Pinzon, G. M., Cueto, J.L. (2005). Composición y concentración de material particulado en el aire de un sector del área Urbana de Santa Marta (Magdalena, Colombia). *Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 33.

García, J.J. & Magaña, E. (2018). Calidad del aire en la cafetería principal de la División Académica de Ciencias Biológicas. *Kuxulkab'*, 24(50): 05-13. Septiembre-diciembre. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a24n50.2416>.

Gong H, Jr, Sioutas C, Linn WS. (2003). Controlled exposures of healthy and asthmatic volunteers to concentrated ambient particles in metropolitan Los Angeles. *Health Effect Institute Report* 118, 1–36.

Guardino, X. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. España: Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales.



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

He, C., Morawska, L., Hitchins, J., Gilbert, D., 2004. *Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. Atmospheric Environment* 38 (21), 3405-3415.

Humphreys, L; Von-Pape, Thilo; Karnowski, Veronika (2013). "Evolving mobile media: Uses and conceptualizations of the mobile internet". *Journal of computer-mediated communication*, v. 18, n. 4, pp. 491-507. <http://dx.doi.org/10.1111/jcc4.12019>.

Hussein, T., Glytsos, T., Ondr\_acek, J., Doh\_anyosov\_a, P., Zdimal, V., Hĕameri, K., Lazaridis, M., Smolik, J., Kulmala, M., (2006). Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house. *Atmospheric Environment* 40, 4285-4307.

IARC. *IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans*; press release no.153; International Agency for Research on Cancer: Lyon, 2004.

INSHT. (2000). El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Recuperado de: [https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074)

Instituto Nacional de Ecología, (s.f). Manual 5 Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire. Recuperado de: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/5%20-%20Protocolo%20de%20Manejo%20de%20Datos%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>.

Li XY, Gilmour PS, Donaldson K, MacNee W. (1996). Free radical activity and pro-inflammatory effects of particulate air pollution (PM<sub>10</sub>) in vivo and in vitro. *Thorax* 51,1216–1222.

Lu, Fengju & Shen, B. & Yuan, Peng & Li, Shuhao & Sun, Yating & Mei, Xue. (2018). The emission of PM<sub>2.5</sub> in respiratory zone from Chinese family cooking and its health effect. *Science of The Total Environment*. 654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.397>

Maroni, M., Seifert, B., and Lindvall, T. (1995). *Indoor Air Quality; A Comprehensive Reference Book (Vol. 3)*. Elsevier, Amsterdam.

Marta I., Blanco V., García A. (2010). *Calidad del aire interior en edificios de uso público*. España: Consejería de sanidad de la comunidad de Madrid.

Matías, A., De Jesus, P., Magaña, E., Ramos, H., Carrera, J. (2016). Exposición a materia particulada y dióxido de carbono en un ambiente universitario en Villahermosa Tabasco. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3 (2): 108 – 121.



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

Martínez, H., y Díaz, Yolanda. (2004). *Contaminación Atmosférica*. Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Mohamed, F., AlThageb, E., Al-Mutiri, E. (2012). Assessment of indoor PM<sub>2.5</sub> in different residential environments. *Atmospheric Environment* 56, 65-68.

Monn, Ch., Fuchs, A., Kogelschatz, D., Wanner, H.U., (1995). Comparison of indoor and outdoor concentrations of PM-10 and PM-2.5. *Journal of Aerosol Science* 26, S515–S516.

Morawska, L., Zhang, J., (2002). Combustion sources of particles: health relevance and source signatures. *Chemosphere* 49 (9), 1045–1058.

Moriske, H.J., Drews, M., Ebert, G., Menk, G., Scheller, C., Schondube, M., Konieczny, L., (1996). Indoor air pollution by different heating systems: coal burning, open "replace and central heating. *Toxicology Letters* 88 (13), 349-354.  
Mukhopadhyay, Krishnendu., Ramasamy, Rengaraj., Mukhopadhyay, Banani., Ghosh, Santu., Sambandam, Sankar., Balakrishnan, Kalpana., (2014). Use of Ventilation-Index in the Development of Exposure Model for Indoor Air Pollution— A Review. *Open Journal of Air Pollution*, 3, 33-41.

NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

OMS. (2000). *The Right to Healthy Indoor Air*. World Health Organization, 13.

OMS. (2002). *Formaldehyde*; Concise International Chemical Assessment Document 40: Geneva. Recuperado de: <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad40.pdf>

OMS. (2014). 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. De World Health Organization. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/es/>.

OMS. (2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones a la salud. De World Health Organization. Recuperado de: <http://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>.

OMS. (2018). Contaminación del aire de interiores y salud. Recuperado el 25 de septiembre de 2019, de <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/household-air-pollution-and-health>



## Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



Paustenbach, D., Alarie, Y., Kulle, T., Schachter, N., Smith, R., Swenberg, J., Witschi, H., Horowitz, S. B. (2010). *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, (50)217.

Pope, C.A. and Dockery, D.W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* 56, 709–742.

Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software, un enfoque práctico*. México, CDMX, Mc Graw-Hill.

PROY-NOM-172-SEMARNAT-2017, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.

Qian J., Peccia J., Ferro A. R. (2014). Walking-induced particle resuspension in indoor environments. *Atmospheric Environment*, 89, 464-481.

Redlich, C. A., Sparer, J., & Cullen, M. R. (1997). Occupational medicine Sick-building syndrome. *The Lancet*. 349. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)07220-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)07220-0)

Salthammer, T., Mentese, S., y Marutzky, R. (2010). Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews*, 110(4), 2536–2572. <https://doi.org/10.1021/cr800399g>

Salvi S, Blomberg A, Rudell B, Kelly F, Sandstrom T, Holgate ST. (1999). Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 159, 702–709.

See, S. W., & Balasubramanian, R. (2006). Risk assessment of exposure to indoor aerosols associated with Chinese cooking. *Environmental Research*, 102(2), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.12.013>

Shaughnessy R., Vu H. (2012). Particle loadings and resuspension related to floor coverings in chamber and in occupied school environments. *Atmospheric Environment*, 55, 515-524.

Suárez, V. D. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Acta Nova*, 308.

Thatcher TL, Layton DW. Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence. *Atmos Environ* 29:1487-1497 (1995).

Tucker, W.G., (2000). An overview of PM2.5 sources and control strategies. *Fuel Processing Technology* 65, 379–392.



## *Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*

Vázquez Alamilla, E.F.; Ulloa Contreras, J.D.; Ramos Hernández, J.J.; Limón Salas, L.; Flores Córdova, S.V.; Rodríguez Metelín, A.U.; García Baños, P. & Bolaina García, A.G. (2019). Evaluación de las concentraciones de formaldehído derivado de la aplicación de aerosoles en espacios interiores. *Kuxulkab'*, 25(52): 15-21, mayo-agosto. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n52.2946>.

Wallace, L., Howard-Reed, C., (2002). Continuous monitoring of ultrafine, fine, and coarse particles in a residence for 18 Months in 1999–2000. *Journal of the Air Waste Management Association*. 52, 828–844.

Wallace, L., (2006). Indoor sources of ultrafine and accumulation mode particles: size distributions, size-resolved concentrations, and source strengths. *Aerosol Science and Technology* 40, 348-360.

Wallace, L., Ott, W., (2011). Personal exposure to ultrafine particles. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 21, 20–30.

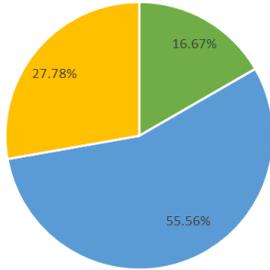
Wanner, H.U., (1993). Sources of pollutants in indoor air. *IARC Scientific Publications*. 109, 19-30.



# Anexos

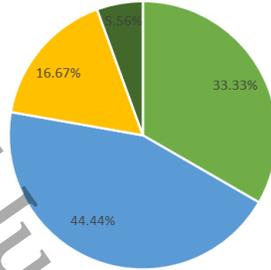
## Resultados de encuesta a alumnos

¿Qué tan satisfecho está con la apariencia de la app?



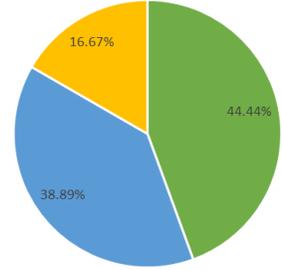
■ Extremadamente satisfecho ■ Muy satisfecho ■ Algo satisfecho

La presentación del contenido (tamaño de letra, colores, iconos) es...



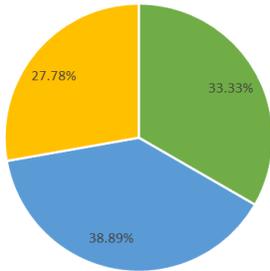
■ Muy buena ■ Buena ■ Aceptable ■ Mala

La distribución del contenido que se presenta en la aplicación es...



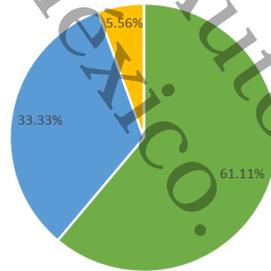
■ Muy buena ■ Buena ■ Aceptable

La distribución de los botones de la interfaz de la aplicación es...



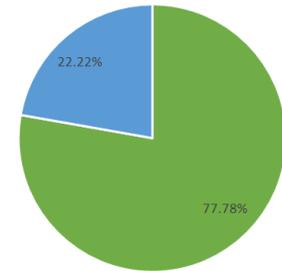
■ Muy buena ■ Buena ■ Aceptable

El recorrido que se hace por el contenido de la aplicación es...



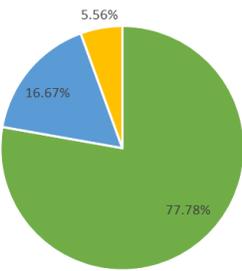
■ Muy fácil ■ Fácil ■ Poco difícil

¿Es la interfaz del software fácil de entender?



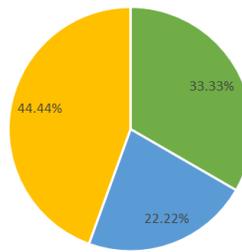
■ Si, es fácil de entender ■ Tal vez

De acuerdo a lo visto en la aplicación ¿cambió tu percepción de la calidad del aire?



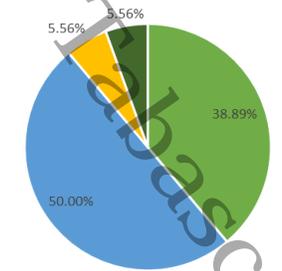
■ Si ■ Tal vez ■ No

¿Estabas consciente de que las actividades cotidianas alteran la calidad del aire interior?



■ Si ■ Tal vez ■ No

¿Qué tan probable es que usted recomiende esta app a otra persona?



■ Muy probable ■ Probablemente sí ■ Poco probable ■ Nada probable



*Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital*



¿Tienes alguna idea sobre cómo mejorar esta app? Escriba aquí sus recomendaciones
Que los iconos se vean un poco más o quizás algo más dinámico
Que la interfaz sea más fluida
Que sea para todas las edades y
Hacer un apartado que plantee casos posibles de contaminación del aire en el hogar, y sus posibles resoluciones
Mas dinámico
Itachi uchiha
Habla de concentraciones y las dimensiones de las habitaciones pueden ser diferentes, es decir, diferente volumen, por lo tanto, la concentración sería diferente a el baño de x al del baño de y.
Su diseño podría ser un poco más atractivo, al igual que pudiera ser un poco más interactiva y agregar una mayor cantidad de preguntas
Sasuke Uchiha

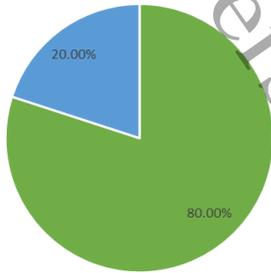


# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



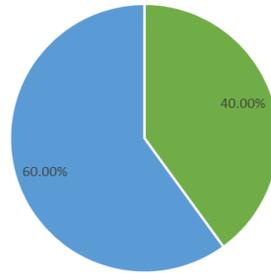
## Resultados de encuesta a profesores

¿Qué tan satisfecho está con la apariencia de esta app?



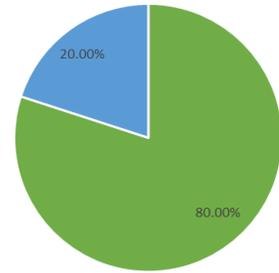
Muy satisfecho    Algo satisfecho

¿Esta usted satisfecho con el rendimiento de la aplicación?



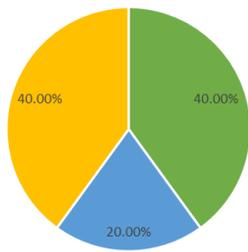
Extremadamente satisfecho    Muy satisfecho

¿Esta usted satisfecho con el rendimiento de la aplicación?



Muy satisfecho    Algo satisfecho

¿Se identifican fácilmente los botones, iconos y diferentes elementos que aparecen en pantalla?



Muy de acuerdo    De acuerdo    Poco de acuerdo

La información que se presenta en la aplicación es extensa



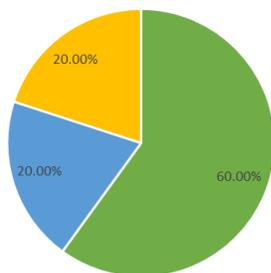
De acuerdo    Poco de acuerdo

La información que se presenta en la aplicación es fácil de entender



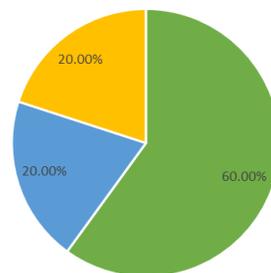
De acuerdo

La presentación del contenido (tamaño de letra, colores, iconos) es...



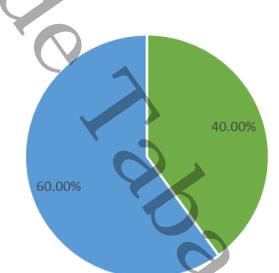
Muy buena    Buena    Aceptable

La distribución de los botones de la interfaz de la aplicación es...



Muy buena    Buena    Aceptable

El recorrido que se hace por el contenido de la aplicación es...



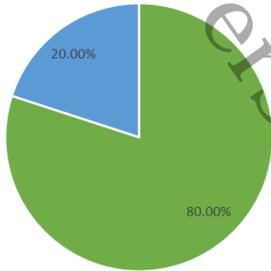
Fácil    Poco fácil



# Simulación de la calidad del aire en interiores para diferentes eventos mediante una herramienta digital



¿Es la interfaz de la app fácil de entender?



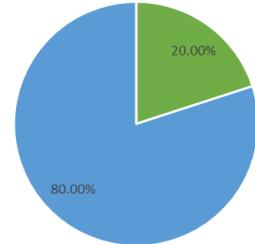
■ Si, es fácil de entender ■ Más o menos

De acuerdo a lo visto en la aplicación ¿cambió tu percepción de la calidad del aire?



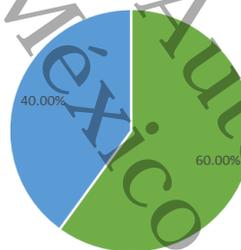
■ Si

¿Estabas consciente de que las actividades cotidianas alteran la calidad del aire interior?



■ Si ■ Más o menos

¿Qué tan probable es que usted recomiende esta aplicación a otra persona?



■ Muy probable ■ Probablemente si

¿Tiene alguna idea sobre cómo podemos mejorar esta app?  
Escriba aquí sus recomendaciones

Poner en la pantalla inicial el conjunto de opciones para que quede claro desde el inicio el valor de la información y el contenido.

Los tiempos que tardan las simulaciones son muy largos, deben acortarse para que sea más ligera la visualización.