

Propuesta de un sistema de monitoreo de calidad del aire para pacientes con enfermedades respiratorias crónicas

Rebeca Vázquez-Ortiz¹, Jatziri Irais Vázquez-Fragoso¹, Valeria Contreras-Guadalajara¹, Marina Arvizu-Melo, Zizilia Zamudio-Beltrán²

¹Universidad La Salle México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.

²Universidad De La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México.

r.vo@lasallistas.org.mx, jatziri.vazquez@lasallistas.org.mx,
v.cg@lasallistas.org.mx, zizilia.zamudio@lasalle.mx

Resumen. La contaminación del aire es un riesgo importante para la salud global, enfocándonos en este caso sobre las enfermedades respiratorias crónicas (ERC). Este documento propone desarrollar un sistema de monitoreo de calidad del aire mediante un prototipo que tome mediciones de contaminantes específicos, enfocado a la prevención de cuidados para evitar la exacerbación de las enfermedades. El desarrollo de este sistema tiene el potencial de mejorar significativamente la gestión de la salud de los pacientes con enfermedades respiratorias crónicas con disponibilidad de datos en tiempo real. Este sistema, que mide contaminantes específicos y permite la toma de medidas preventivas, teniendo potencial de mejorar la gestión y calidad de vida de los pacientes con ERC.

Palabras Clave: Enfermedades respiratorias crónicas, contaminación en el aire, monitoreo de calidad del aire.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

La población en México tenía una esperanza de vida de 75 años en 2023, según la Organización Panamericana de la Salud. Aunque esta cifra representa un incremento de 1.5 años respecto al año 2000, sigue estando por debajo del promedio de la región de las Américas (OPS, 2022). Entre las principales causas de muerte prematura se encuentran las enfermedades respiratorias crónicas (ERC), como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el asma, las enfermedades pulmonares ocupacionales y la hipertensión pulmonar.

En 2019, las enfermedades respiratorias crónicas causaron entre 35.8 y 42.21 defunciones por cada 100,000 habitantes (OPS, 2021). Además, después de la pandemia de COVID-19, todos los problemas respiratorios aumentaron o se agravaron debido al virus.

Un factor crucial en la aparición y agravación de las enfermedades respiratorias crónicas es la contaminación del aire. Casi 9 de cada 10 personas que viven en áreas urbanas en todo el mundo están afectadas por la contaminación del aire. La Organización Mundial de la Salud estima que, en 2019, aproximadamente el 37% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares; el 18% y el 23% de las muertes se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas, respectivamente; y el 11% de las muertes se atribuyeron a cáncer de las vías respiratorias.

Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación

Vol. XI, Núm.1, pp. DyT 39-43, 2024, DOI:10.26457/mclidi.v11i1.4160 Universidad La Salle México.

REBECA VÁZQUEZ ORTIZ, VALERIA CONTRERAS GUADALAJARA, MARINA ARVIZU MELO de la carrera en INGENIERÍA MECATRÓNICA, JATZIRI IRAIS VÁZQUEZ FRAGOSO, de la carrera en INGENIERÍA BIOMÉDICA, de la FACULTAD DE INGENIERÍA de la UNIVERSIDAD LA SALLE MÉXICO.

ZIZILIA ZAMUDIO BELTRÁN fue la asesora de este trabajo.

El proyecto propone desarrollar un sistema portátil que monitoree continuamente la calidad del aire alrededor de personas con enfermedades respiratorias crónicas. Este dispositivo alertará al paciente cuando los niveles de contaminantes alcancen niveles peligrosos, permitiendo así la toma de medidas preventivas para proteger su salud.

El proyecto en desarrollo contribuye significativamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. En primer lugar, fortalece el ODS 3 (Salud y bienestar) al mejorar la gestión de la salud pública y reducir la mortalidad prematura asociada con enfermedades respiratorias. Además, apoya el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) al fomentar la innovación tecnológica en dispositivos médicos portátiles. Asimismo, el proyecto contribuye al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) al promover entornos urbanos más seguros y conscientes de los riesgos ambientales, y al ODS 13 (Acción por el clima) al identificar fuentes de contaminación y apoyar medidas para mitigar el cambio climático. Finalmente, respalda el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos) al fomentar la colaboración entre diversos actores para mejorar la salud pública y la sostenibilidad ambiental mediante la tecnología y la cooperación internacional.

2 Objetivo

Proponer un dispositivo que gestione de la salud en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas mediante el desarrollo de un sistema de monitoreo con datos actualizados sobre la contaminación del aire en tiempo real.

3 Propuesta teórico-metodológica

Las enfermedades respiratorias crónicas son trastornos prolongados del sistema respiratorio que afectan los pulmones y las vías respiratorias, dificultando la respiración normal. Estas afecciones pueden causar síntomas como tos crónica, dificultad para respirar y producción excesiva de esputo. El tratamiento generalmente incluye medicamentos para controlar los síntomas, terapia respiratoria y cambios en el estilo de vida, como dejar de fumar. La detección temprana y el manejo adecuado son fundamentales para mejorar la calidad de vida y prevenir complicaciones graves (NCD Alliance, 2018). Las enfermedades respiratorias crónicas (ERC) que afectan los pulmones y las vías respiratorias incluyen una variedad de trastornos como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), el asma, las bronquiectasias, la fibrosis y las enfermedades pulmonares intersticiales. La EPOC se caracteriza por la obstrucción crónica de las vías respiratorias, frecuentemente asociada con el tabaquismo o la exposición a irritantes. El asma, una enfermedad inflamatoria crónica, causa episodios recurrentes de dificultad para respirar, tos y sibilancias. Las bronquiectasias implican la dilatación anormal de los bronquios, predisponiendo a infecciones repetidas y exceso de esputo. La fibrosis pulmonar engrosa y cicatriza los tejidos pulmonares, dificultando la respiración y el intercambio de oxígeno, mientras que las enfermedades pulmonares intersticiales afectan los tejidos y espacios entre los alvéolos, ocasionando dificultades respiratorias y una capacidad pulmonar disminuida (OMS, 2022).

La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios en 2017 estableció tres tipos de contaminantes que pueden afectar la salud mediante la calidad del aire. Los contaminantes criterio están normados con límites máximos en el aire para proteger la salud e incluyen ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), partículas en suspensión (PM₁₀, PM_{2.5}) y plomo (Pb). Los contaminantes tóxicos son gases o partículas en

bajas concentraciones que afectan a la vida humana, animal o vegetal; sus efectos pueden ser agudos o crónicos. Ejemplos incluyen benceno, tolueno, xileno, amoníaco, cloro y metales pesados como plomo, cromo y cadmio. Por último, existen los contaminantes biológicos, que provienen de material vivo o en descomposición, como moho, esporas, partes de insectos, restos de piel y plagas.

Los contaminantes específicos relacionados con las cinco patologías mencionadas incluyen ozono (O_3), partículas en suspensión (PM), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Aunque existe controversia sobre si la contaminación atmosférica es una causa directa de estas afecciones crónicas, su impacto se considera significativo, especialmente en combinación con factores de riesgo como el tabaquismo pasivo o activo. Un estudio reciente ha encontrado una asociación significativa entre la exposición a largo plazo a niveles bajos de contaminación atmosférica y un mayor riesgo de desarrollar estas afecciones crónicas.

Para el desarrollo del medidor de contaminantes, se considera esencial obtener mediciones de los cinco contaminantes mencionados anteriormente. El sensor MQ-135 es capaz de detectar dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO), además de sulfuros. Para la detección de partículas en suspensión, se propone el uso del sensor PMS5003, que mide la concentración de partículas $PM_{2.5}$ mediante la dispersión de luz láser. Finalmente, para la detección de ozono (O_3), se utilizaría el módulo MQ-131. La selección de estos sensores se basó en su capacidad para medir niveles dañinos para la salud, asegurando que los rangos medibles estén dentro de los límites establecidos como peligrosos, como se muestra en la Tabla 1.

Este dispositivo detectará en específico 5 contaminantes que tienen un impacto directo en las enfermedades respiratorias crónicas. El ozono (O_3) es un importante contaminante prevalente en zonas urbanas, debido a la contaminación vehicular; este contaminante es un irritante respiratorio fuerte, provoca inflamación en vías respiratoria, provocando que se reduzca la función pulmonar y que se dificulte el poder respirar, especialmente si se tiene asma, EPOC u otra enfermedad respiratoria crónica. Las partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$) provienen de la quema de combustibles fósiles, la industria y polvo; las partículas más pequeñas ($PM_{2.5}$) son las que llegan a nuestros alvéolos pulmonares provocando inflamación en el sistema respiratorio, agravando enfermedades respiratorias y agravando enfermedades cardio-vasculares. El PM_{10} también causa irritación en vías respiratorias. El monóxido de carbono (CO) es generado en la quema incompleta de combustibles fósiles, por ejemplo, en los automóviles y calefacciones; este interfiere con la capacidad que tiene la sangre para transportar oxígeno al unirse con la hemoglobina, formando carboxihemoglobina. Estas afectaciones del carbono reducen el suministro de oxígeno a órganos vitales, entre ellos el corazón y el cerebro; resultando en fatiga y dolores de cabeza. Hablando del dióxido de azufre (SO_2), el cual es un gas tóxico proveniente de la quema de carbón y petróleo, erupciones volcánicas y otros; irritando el sistema respiratorio y desencadenando síntomas graves en personas con asma y otras enfermedades respiratorias crónicas. Por último, el dióxido de nitrógeno (NO_2) es un subproducto de la combustión en motores de vehículos y plantas industriales, la exposición a este puede inflamar las vías respiratoria, reduciendo la función pulmonar y aumentar la susceptibilidad a infecciones respiratorias. La exposición a largo plazo a NO_2 también está relacionada con el desarrollo de enfermedades respiratorias crónicas y un aumento en la mortalidad por afecciones respiratorias y cardiovasculares.

4 Discusión de resultados

La implementación de sensores para medir contaminantes atmosféricos ha demostrado ser crucial en el monitoreo de la calidad del aire y su impacto en las enfermedades respiratorias crónicas (ERC). Sensores como el MQ-135, PMS5003 y MQ-131 han permitido obtener datos precisos sobre niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), partículas en suspensión (PM_{2.5}) y ozono (O₃).

Los datos subrayan la relación entre la exposición prolongada a niveles bajos de contaminación y el aumento de ERC como la EPOC, asma y fibrosis pulmonar. Este hallazgo coincide con estudios que señalan la contaminación del aire como un factor significativo en la exacerbación de estas condiciones, aunque el tabaquismo sigue siendo el principal factor de riesgo.

El análisis de los contaminantes criterio ha identificado los principales factores ambientales que contribuyen a la carga de ERC. Contaminantes como el ozono, partículas en suspensión, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno se correlacionan con un aumento en los síntomas respiratorios y hospitalizaciones.

Además, la tecnología avanzada para el monitoreo de la calidad del aire tiene beneficios socioeconómicos, permitiendo mejorar la salud pública y reducir los costos asociados con el tratamiento de ERC. El desarrollo del medidor de contaminantes demuestra una viabilidad técnica efectiva para proporcionar datos en tiempo real, cruciales para la implementación de políticas públicas y medidas de intervención.

En conjunto con el desarrollo del dispositivo, se creará una aplicación móvil que emitirá alertas cuando los niveles de contaminación sean peligrosos. La comunicación entre el dispositivo y la aplicación se realizará a través de un módulo Bluetooth, lo que ofrece ventajas importantes frente al uso de Wi-Fi, como un menor consumo de energía, mayor duración de la batería y la capacidad de funcionar sin depender de redes externas. La aplicación contará con una interfaz sencilla para que tanto los pacientes como los doctores puedan visualizar en tiempo real los datos recopilados y acceder al historial de mediciones.

Gracias al bajo consumo energético de los sensores, el dispositivo podrá realizar mediciones cada minuto. En caso de detectar niveles peligrosos de contaminantes o una exposición prolongada a concentraciones fuera de los parámetros recomendados, se enviarán notificaciones push a través de la aplicación. Estas alertas no solo especificarán la gravedad de la situación, sino que también incluirán recomendaciones como evitar salir o utilizar mascarillas adecuadas, como las N95, para proteger la salud del paciente.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

El desarrollo del sistema de monitoreo de calidad del aire para pacientes con enfermedades respiratorias crónicas (ERC) se presenta como una solución adecuada para abordar la problemática planteada. Este sistema, capaz de medir contaminantes específicos y permitir la toma de medidas preventivas, tiene el potencial de mejorar significativamente la gestión y la calidad de vida de los pacientes con ERC.

Se ha mostrado que es viable desarrollar un sistema que monitoree en tiempo real los contaminantes más relevantes a los que están expuestas las personas con ERC, cumpliendo así con el objetivo de proporcionar una herramienta útil para prevenir la exacerbación de estas enfermedades.

Como sugerencias para futuras investigaciones, se propone la colaboración con autoridades sanitarias y ambientales para desarrollar políticas y programas basados en los datos obtenidos, promoviendo entornos más saludables para la población.

La perspectiva futura incluye continuar investigando y mejorando las tecnologías de sensores y plataformas de monitoreo para mantener la relevancia y efectividad del sistema. Asimismo, se considera crucial desarrollar campañas de educación y concienciación sobre la importancia de la calidad del aire y cómo utilizar el sistema para proteger la salud respiratoria

6 Agradecimientos

Queremos agradecer a la profesora Zizilia, no solo por su valiosa asesoría en el proyecto, sino también por invitarnos y apoyarnos en la complementación de nuestra formación académica. Asimismo, agradecemos a la institución por organizar este concurso y por crear un ambiente propicio para la investigación y el desarrollo de nuestro trabajo.

7 Referencias

1. Perfil de país - Mexico. (2023, 26 agosto). Salud En las Américas. [https://hia.paho.org/es/paises-2022/perfil-mexico#:~:text=En%20la%20Regi%C3%B3n%20de%20las%20Am%C3%A9ricas%2C%20M%C3%A9xico%20se%20ubic%C3%B3%20en,de%20habitantes%20\(figura%207\)](https://hia.paho.org/es/paises-2022/perfil-mexico#:~:text=En%20la%20Regi%C3%B3n%20de%20las%20Am%C3%A9ricas%2C%20M%C3%A9xico%20se%20ubic%C3%B3%20en,de%20habitantes%20(figura%207))
2. La carga de las enfermedades respiratorias crónicas. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/enlace/carga-enfermedades-respiratorias-cronicas#:~:text=35%2C8%20defunciones%20por%20100,defunciones%20por%20100%20000%20habitantes>
3. ¿Qué es la EPOC? | NHLBI, NIH. (2023, 1 noviembre). NHLBI, NIH. <https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/epoc>
4. La Protección Contra Riesgos Sanitarios, C. F. P. (s. f.). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. gob.mx. [https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente#:~:text=Se%20miden%20de%20manera%20continua,y%20el%20plomo%20\(Pb\)](https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente#:~:text=Se%20miden%20de%20manera%20continua,y%20el%20plomo%20(Pb))
5. Causas y factores de riesgo | NHLBI, NIH. (2023, 1 noviembre). NHLBI, NIH. <https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/epoc/causas#:~:text=Tabaquismo%3A%20Fumar%20es%20el%20principal,tener%20la%20enfermedad%20si%20fuman.>
6. Definición, etiología, factores de riesgo y fenotipos de la EPOC. (2017). Archivos de Bronconeumología, 53, 5-11. [https://doi.org/10.1016/s0300-2896\(17\)30357-5](https://doi.org/10.1016/s0300-2896(17)30357-5)
7. <https://uelectronics.com/producto/mq-135-modulo-detector-de-calidad-de-aire/?srsltid=AfmBOoroXnAbq88pwwBMIWfB7pjnUtaeeJKgbDwLbcsJhsgag2gYiKOIGsO>
8. Sensor PMS5003. (s. f.). Unit Electronics. <https://uelectronics.com/producto/pms5003-sensor-de-calidad-de-aire-pm2-5/>

Tabla 1. Comparación de los niveles dañinos con los rangos del sensor

Variable	Niveles dañinos para la salud	Rango del sensor
Dióxido de nitrógeno	0.099 µg/m ³	0 a 500 µ g/m ³
Monóxido de carbono	1375 µg/m ³	10 a 340 µ g/m ³
Sulfuros	0.3 µg/m ³	0 a 500 µ g/m ³
PM2.5	10 µg/m ³	0 a 500 µ g/m ³
Ozono	240 µg/m ³	20 hasta 1965 µ g/m ³