

Niveles de contaminación del aire y su asociación con los eventos arrítmicos: una revisión sistemática

Air Pollution Levels and Their Association With Arrhythmic Events: A Systematic Review

Diana Marcela Castillo-Sierra^{1*} , Alejandro Olaya-Sánchez² ,
Alba Yaneth Ramos-Alvarez³ , Javier Mauricio Sánchez-Rodríguez⁴ 

✉ * castillosierradianamarcela@gmail

¹ Universidad ECCL, Bogotá, Colombia

² Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia y Hospital Cardiovascular del Niño de Cundinamarca. Bogotá, Colombia

³ Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

⁴ Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

Recibido: 7/05/2025. Aprobado: 06/10/2025

Resumen

Introducción: Los niveles de contaminación del aire tienen impactos negativos sobre la salud cardiovascular. **Objetivo:** Sintetizar la evidencia científica de los últimos 5 años de la asociación de los niveles de contaminación con la aparición de arritmias cardíacas. **Metodología:** Se realizó una búsqueda de la literatura en las bases de datos Science Direct, EBSCO HOST, Doaj, Latindex, Pubmed, Redalyc, Scielo y Biblioteca Virtual en Salud. Para la selección de los artículos se tuvo en cuenta la mnemotecnía PICO (población, intervención, comparativo y resultados). La calidad científica fue evaluada con la herramienta Critical Appraisal Skills Programme español CASPe. La síntesis y el análisis se llevó a cabo con el uso de la herramienta office Excel. **Resultados:** Se seleccionaron 25 artículos primarios. Se establecieron cuatro categorías para su comprensión: efectos arrítmicos de los niveles contaminantes, cambios fisiopatológicos, población vulnerable y medidas de prevención. **Conclusión:** La exposición a partículas contaminantes del aire tienen una asociación significativa con cambios electrocardiográficos y las arritmias cardíacas.

Palabras clave: Arritmias Cardíacas; Contaminación del Aire; Efectos de la Contaminación del Aire; Revisión Sistemática; Electrofisiología Cardíaca; Salud Cardiovascular.

Abstract

Introduction: Air pollution levels have negative impacts on cardiovascular health. **Objective:** Synthesize the scientific evidence of the last 5 years on the association of pollution levels with the appearance of cardiac arrhythmias. **Methodology:** A literature search was conducted in Science Direct, EBSCO HOST, Doaj, Latindex, Pubmed,

Forma de citar: Castillo-Sierra DM, Olaya-Sánchez A, Ramos-Alvarez AY, Sánchez-Rodríguez JM. Niveles de contaminación del aire y su asociación con los eventos arrítmicos: una revisión sistemática. Salud UIS. 2025; 57: e25v57a29. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.57.e:25v57a29>



Redalyc, Scielo and Biblioteca Virtual en Salud databases. For the selection of articles, the PICO mnemonic (population, intervention, comparison and outcomes) was considered, and the scientific quality was evaluated with the Critical Appraisal Skills Programme in Spanish CASPe tool. The synthesis and analysis were carried out using the office Excel tool. **Results:** 25 primary articles were selected, and four categories were established for their understanding: arrhythmic effects of pollutant levels, pathophysiological changes, vulnerable population and prevention measures. **Conclusion:** Exposure to air contaminating particles has a significant association with electrocardiographic changes and cardiac arrhythmias.

Key Words: Arrhythmias Cardiac; Air Pollution; Air Contamination Effects; Systematic Review; Cardiac Electrophysiology; Cardiovascular Health.

Introducción

La creciente urbanización e industrialización de las sociedades modernas actualmente proponen nuevas problemáticas para la supervivencia y la calidad de vida de la población. Es así como la contaminación ambiental y el cambio climático se han convertido en temas clave para la política mundial. De acuerdo con las Naciones Unidas, en el año 2021 se presentaron 8.1 millones de muertes atribuibles a la contaminación y el 90% están relacionadas con partículas finas en suspensión a nivel exterior e interior¹. Así mismo, el Observatorio Mundial de la Salud indica que en el 2019, al menos 380.000 muertes prematuras en las Américas están conexas con la contaminación del aire². En este sentido, el instituto nacional de salud de Colombia para el mismo periodo de tiempo reportó que la carga de enfermedad por contaminación representó un total de 17.549 muertes asociadas con la mala calidad del agua, del aire y a la exposición a combustibles pesados, lo que corresponde al 8% del total de la mortalidad en el país³.

Los contaminantes transportados por el aire son una combinación de material particulado (PM) y gases de combustibles fósiles que pueden surgir de fuentes naturales como por ejemplo los incendios, las erupciones volcánicas, el suelo y de fuentes antropogénicas como la industria, la agricultura, la cocina y el tráfico, entre otros⁴. Ampliamente, se ha demostrado la asociación entre los niveles de contaminación y los efectos no deseados en la salud, tanto en población con comorbilidades o enfermedades de base, como en la población general⁵⁻⁹. Dentro de las sustancias reportadas que se asocian con resultados adversos para la salud se encuentran el dióxido de nitrógeno (NO₂), las partículas en suspensión de diámetro igual o inferior a 10 micras (PM₁₀), el dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO) y especialmente las partículas en suspensión de diámetro igual o inferior a 2.5 micras (PM_{2.5}), que por su tamaño son capaces de penetrar las vías respiratorias y llegar al torrente sanguíneo. Por esta razón, la organización mundial de la salud (OMS) ha emitido las recomendaciones de calidad del aire, en la que insta a los países a reducir la contaminación del aire manteniendo valores intermedios anuales de 20 µg/m³ para PM₁₀ y 10 µg/m³ para PM₂₅^{10,11}.

Actualmente, los estudios se han centrado en las consecuencias de la contaminación sobre el sistema cardiovascular¹²⁻¹⁴, permitiendo avanzar en la explicación de los mecanismos fisiológicos que interactúan en el organismo frente a las sustancias contaminantes, siendo el estrés oxidativo un factor clave que subyace entre la interacción del sistema cardiovascular, dado los efectos prooxidantes de muchos contaminantes^{12,15-18}. De igual forma, los hallazgos científicos han demostrado la relación positiva de la mala calidad del aire y las enfermedades cardiovasculares como la enfermedad coronaria, la muerte súbita, insuficiencia cardíaca, los accidentes cerebrovasculares y las arritmias cardíacas^{13,14,19-21}. Dada la cantidad de publicaciones que han abordado la temática, esta revisión sistemática de la literatura busca sintetizar la evidencia científica de los últimos 5 años de la asociación de los niveles de contaminación con la aparición de eventos arritmogénicos.

Metodología

En el periodo comprendido entre enero a junio de 2024 se realizó una revisión sistemática de la literatura. Su construcción está basada en la recolección, selección, evaluación y síntesis de la evidencia científica obtenida de artículos primarios y fuentes de información²². Esta revisión sigue varias de las recomendaciones de la Declaración PRISMA en relación con la estructura y el rigor²³. Se organizó el desarrollo siguiendo tres etapas: Búsqueda de la literatura, identificación y cribado de los artículos, Extracción de los datos y síntesis.

Fase 1: Búsqueda de la literatura

Se realizó una búsqueda en las siguientes bases de datos Science Direct, EBSCO HOST, Doaj, Latindex, Pubmed, Redalyc, Scielo y Biblioteca Virtual en Salud, se identificaron los descriptores en salud asociados con la pregunta de investigación ¿Cómo influyen los niveles de contaminación del aire en la aparición de arritmias cardíacas?: “calidad del aire”, “arritmias cardíacas”, “Contaminación Ambiental”, “dispositivos cardíacos”, con los cuales se construyeron las siguientes ecuaciones de búsqueda: (“air pollution”[MeSH Terms] OR (“air”[All Fields] AND “pollution”[All Fields]) OR “air pollution”[All Fields] OR (“air”[All Fields] AND “quality”[All Fields]) OR “air quality”[All Fields]) (“environment”[All Fields] AND “pollution”[All Fields]) OR “environment pollution”[All Fields]) AND (“arrhythmias, cardiac”[MeSH Terms] OR (“arrhythmias”[All Fields] AND “cardiac”[All Fields]) OR “cardiac arrhythmias”[All Fields] OR (“cardiac”[All Fields] AND “arrhythmias”[All Fields])) AND (“heart”[MeSH Terms] OR “heart”[All Fields] OR “cardiac”[All Fields]) AND “cardiac devices”[All Fields] (“instrumentation”[Subheading] OR “instrumentation”[All Fields] OR “devices”[All Fields]).

Fase 2: Identificación y Cribado de los artículos

El proceso de elegibilidad de los artículos se realizó de manera manual por el grupo investigador, se tuvo en cuenta la mnemotecnica PIOT²⁴ que se observa en la **tabla 1** para establecer los criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión fueron: 1) personas adultas mayores de 18 años. 2) artículos primarios que aborden la asociación entre los niveles de contaminación y las arritmias cardíacas. 3) estudios con full text disponible. 4) idioma inglés y español. 5) publicados en los últimos 5 años. Como criterios de exclusión: estudios de revisiones de temas y/o revisiones sistemáticas, metaanálisis, dado que el interés principal es conocer las fuentes primarias. Se utilizó la herramienta de automatización Excel en un archivo compartido para registrar la información de cada artículo.

Tabla 1. Descripción estructura mnemotecnica PIOT

P	Adultos
I	Niveles de contaminación del aire
O	Arritmias cardíacas
T	Estudios primarios de los 5 años

Calidad de los estudios seleccionados

Con la finalidad de evaluar la calidad metodológica de los artículos, se aplicó la herramienta CASPe –Critical Appraisal Skills Programme Español–²⁵, que de acuerdo al tipo de estudio establece criterios que permiten verificar la rigurosidad del método, la credibilidad de los resultados presentados y la relevancia de cada estudio. Se estableció un valor superior a 8/10 como puntaje de aprobación de la calidad de los estudios seleccionados.

Fase 3: Extracción de los datos y síntesis

Durante el proceso de extracción o síntesis de los datos, el grupo de investigadores trabajaron de manera simultánea en la lectura completa de las publicaciones seleccionadas, para la revisión y el cribado de cada uno de los artículos aplicando los filtros correspondientes. Cada artículo tuvo una revisión por pares generando la ficha de resumen analítico especializado (RAE) incluyendo la puntuación CASPe, que en un primer momento se realizó de manera independiente por dos revisores y en caso de controversia se realizó un concepto adicional por otro miembro del grupo investigador, la información se registró en la herramienta de automatización Excel al cual tenían acceso todos los autores. Posteriormente, se efectúa la sustracción de los hallazgos que se asociaban con el fenómeno de interés, resaltando los aspectos relevantes que ayudaron a establecer las coincidencias temáticas en los estudios seleccionados para lograr una agrupación por unidades similares hasta llegar a la conformación de las categorías.

Resultados

En total se seleccionaron 25 artículos de estudios primarios que cumplieron con los criterios de inclusión establecidos, en la **figura 1** se observa el flujograma PRISMA con los resultados de los artículos seleccionados. En lo que se refiere a su caracterización, se puede evidenciar que 52% corresponden al continente asiático, 24% al continente europeo, el 20% a América del norte y tan solo 4% a América del sur. Como aspecto relevante se evidencia una predominancia del sexo femenino en las muestras de la población referidas. Las edades promedio encontradas oscilan entre los 50 a 70 años y en su mayoría presentan grandes muestras de la población estudiada, en la **Tabla 2** se encuentran descritos los estudios seleccionados. Se consolidaron cuatro categorías como eje para comprender la relación entre los niveles de contaminación del aire y las arritmias cardiacas: Efectos arrítmicos de los niveles contaminantes, cambios fisiopatológicos que explican los eventos arrítmicos, población vulnerable a los efectos arrítmicos de la contaminación del aire y medidas de prevención para disminuir los efectos de los niveles de contaminación del aire. Las cuales se describen a continuación.

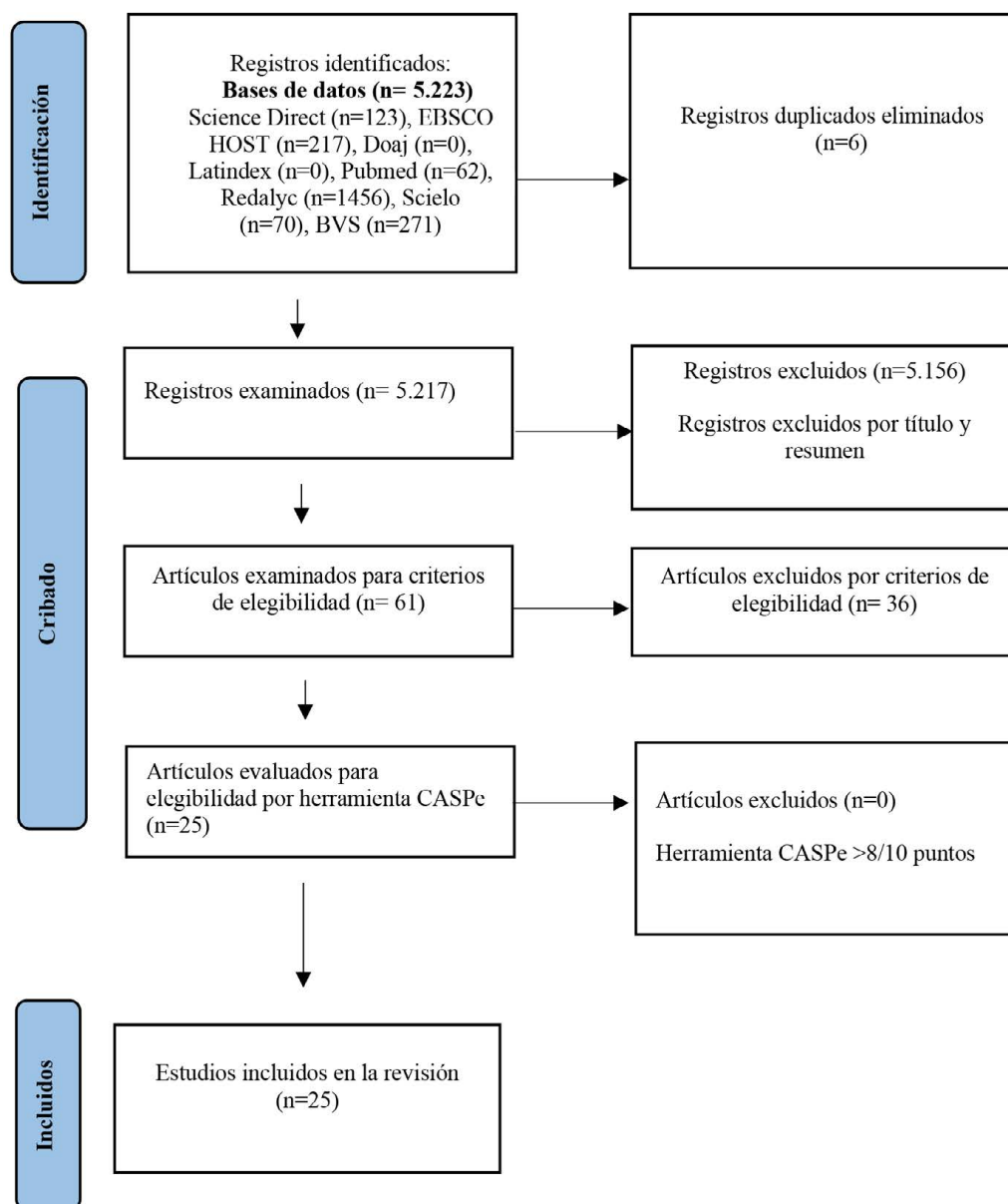


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA de los resultados.

Tabla 2. Características de los artículos seleccionados

Autor /Año	Título	País/ Método	Población /Tamaño Muestral	Contaminantes Estudiados	Resultado
He F, et al. 2011 ²⁸	1. Acute Effects of Fine Particulate Air Pollution on Cardiac Arrhythmia: The APACR Study.	Estados Unidos/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos mayores de 45 años no fumadores. N= 105	PM 2.5	Los aumentos de 10 μ g/ m ³ de PM 2.5 durante 60 minutos de exposición se asoció con un aumento significativo de contracciones ventriculares prematuras en individuos sanos.
Halldorsdottir S, et al. 2022 ³²	2. Ambient nitrogen dioxide is associated with emergency hospital visits for atrial fibrillation: a population-based case-crossover study in Reykjavik, Iceland.	Islandia/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos mayores de 18 años N= 13.664	NO ₂ , PM10, PM2.5, SO ₂ y sulfuro de hidrogeno.	Cada aumento de 10 μ g/ m ³ en NO ₂ se asoció con un mayor riesgo de enfermedades cardíacas (OR 1.023). Cada aumento de 10 μ g/ m ³ en El NO ₂ se asoció con un mayor riesgo de FA (OR 1.030). Las mujeres tenían un mayor riesgo de FA (OR 1.051).
Wu JH, et al. 2021 ³⁴	3. Ambient Particulate Matter Pollution and Hospital Visits for Cardiac Arrhythmia in Beijing, China.	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos mayores de 18 años N= 1.435.139	PM 2,5	Las hospitalizaciones diarias por arritmias cardíacas estaban relacionadas con aumentos de 10 μ g/m ³ en PM _{2,5} (RR 1.02). Se encontró un efecto arritmogénico inmediato de las partículas finas. El aumento por cada 10 μ g/m ³ de partículas finas se asoció con un aumento del 0,584 % (IC del 95 % p < 0,001) de arritmia cardíaca detectada como contracciones auriculares prematuras o taquicardia auricular.
Yang M, et al 2020 ²⁹	4. Artificial intelligence-assisted analysis on the association between exposure to ambient fine particulate matter and incidence of arrhythmias in outpatients of Shanghai community hospitals.	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos mayores de 18 años N= 1.016.579	PM2.5, PM10, dióxido de azufre (SO ₂), dióxido de nitrógeno (NO ₂), ozono (O ₃) y monóxido de carbono (CO)	Se evidenciaron asociaciones positivas entre el nivel de partículas finas y la prevalencia de arritmia cardíaca (p (rho) PM 2.5 1.0, PM 10 0.90, SO ₂ 0.70, NO ₂ 0.67, CO 0.82+, O ₃ -0.14).
Han X, et al. 2023 ²⁶	5. Association between long-term exposure to PM2.5 constituents and electrocardiographic abnormality: A nationwide longitudinal study in China.	China/ Cuantitativo / longitudinal / Correlacional	Adultos mayores de 40 años. N= 61.094	PM 2,5, Sulfato NO ₃ , Amonio, materia orgánica y carbón negro.	Los cinco componentes se asociaron positivamente con un mayor riesgo de anomalías en el electrocardiograma (OR 1.1 a 1.25).

Autor /Año	Título	País/ Método	Población /Tamaño Muestral	Contaminantes Estudiados	Resultado
Wang M, et al. 2020 ³³	6. Associations between air pollution and outpatient visits for arrhythmia in Hangzhou, China.	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos entre los 40 y 60 años N= 16.191	PM2.5, PM10, SO2, NO2, O3 y monóxido de carbono.	El aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM 2.5, PM 10, SO2 atmosféricos, NO2 y O3 provocaron un aumento significativo del número de pacientes con arritmia, con RR de 1.006, 1.007, 1.119, 1.067 y 0.991 respectivamente (IC 95%).
Cao H, et al. 2020 ²⁷	7. Associations of long-term exposure to ambient air pollution with cardiac conduction abnormalities in Chinese adults: The CHCN-BTH cohort study.	China/ Cuantitativo / longitudinal/ Correlacional	Adultos entre 18 y 80 años N= 27.047	PM 2.5, PM 10, SO2, NO2, O3 y CO	Mayores concentraciones de PM 2.5, SO2, O3 y CO evidenciaron asociaciones significativas (p (rho) 1 $p < 0.001$) con niveles más altos de frecuencia cardíaca, QRS y QTc.
	8. Do acute changes in ambient air pollution increase the risk of potentially fatal cardiac arrhythmias in patients with implantable cardioverter defibrillators?	Cuantitativo / Estudio cruzado de casos	Adultos con cardiodesfibrilador implantable. N= 1952	O3, PM 2.5, SO2 y NO2.	El análisis de casos cruzados no demostró una asociación significativa entre una descarga adecuada del DAI y cualquiera de los contaminantes del aire. (OR 0.97 para O3, 0.99 para PM2.5, 0.97 para SO2 y 1.00 para NO2.
Feng B, et al. 2019 ³⁵	9. High level of source-specific particulate matter air pollution associated with cardiac arrhythmias.	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos entre 18 y 36 años sanos y no fumadores. N= 45	PM 2.5	Las asociaciones de PM 2.5 de fuente específica (actividades antropogénicas) y arritmias cardíacas mostraron riesgos significativamente mayores para contracciones prematuras supraventriculares, taquicardia auricular, contracciones prematuras ventriculares y taquicardia ventricular (RR 1.19 a 1.64 IC 95%).
Zhang Z, et al 2020 ⁴⁶	10. Long-Term Particulate Matter Exposure and Incidence of Arrhythmias: A Cohort Study	Corea del sur/ Cuantitativo/ Cohorte / Prospectiva	Adultos de 18 años o más. Se excluyeron personas con arritmias de base o enfermedades cardíacas. N= 178.780	PM 2.5, PM 10	La exposición prolongada a la contaminación del aire exterior con un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la exposición PM se asoció con un mayor riesgo de arritmia durante 12 a 36 meses (OR 1.27 y 1.10 respectivamente).
Sun W, et al. 2023 ⁴⁹	11. Middle-term nitrogen dioxide exposure and electrocardiogram abnormalities: A nationwide longitudinal study	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos que tuvieran 40 años o más. N= 61.094	NO2	Cada aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de NO2 se asoció con anomalías en el electrocardiograma (OR 1.10 IC 95 %).

Autor /Año	Titulo	País/ Método	Población /Tamaño Muestral	Contaminantes Estudiados	Resultado
Huang C, et al. 2021 ⁴⁸	12. Particulate matter air pollution and reduced heart rate variability: How the associations vary by particle size in Shanghai, China	China/ Cuantitativo/ estudio longitudinal de medidas repetidas.	Adultos entre los 30 y 54 años con antecedentes de arritmia cardiaca y/o comorbilidades. N= 78	PM 2.5, PM 10, el monóxido de carbono, NO ₂ , SO ₂ y O ₃ .	Se observaron asociaciones estadísticamente significativas entre partículas de < 0,3 µm y La variabilidad de la frecuencia cardíaca (ρ (rho) = 0,47–0,99).
Dahlquist M, et al. 2020 ⁴⁴	13. Short-term associations between ambient air pollution and acute atrial fibrillation episodes.	Suecia/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos de 75 años sin Fibrilación auricular. N= 218	PM 2.5, PM 10, NO ₂ y O ₃ .	Se identificó una mayor probabilidad de fibrilación auricular con exposiciones media altas a PM 2.5 y PM 10 en 24 horas (OR 1.10 IC 95%).
Liu L, et al. 2022 ³⁶	14. Short-term exposure to ambient ozone associated with cardiac arrhythmias in healthy adults.	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos sanos no fumadores. N= 73	O ₃	Se observaron mayores riesgos de contracción ventricular prematura y taquicardia ventricular asociados a la exposición de O ₃ e a través del empeoramiento de la función autonómica y la carga miocárdica (RR 2.14 IC 95%).
Pan Z, et al. 2023 ³⁰	15. Short-term exposure to ozone and ECG abnormalities in China: A nation wide longitudinal study	China/ Cuantitativo/ correlacional /Longitudinal multicéntrico	Adultos mayores de 40 años N=47.290	O ₃ , PM 2.5	Cada incremento de 10 µg/m ³ en la concentración de O ₃ se asoció con cualquier anomalía en el electrocardiograma a corto plazo (OR 1.055 IC 95%). Para la arritmia cardíaca diagnosticada por electrocardiograma el odds ratio fue de 1,062 (IC 95%).
Andersen ZJ, et al. 2021 ³⁷	16. Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Air Pollution, and Incident Atrial Fibrillation in the Danish Nurse Cohort	Dinamarca / Países bajos/ Cuantitativo / Correlacional	Mujeres Enfermeras N= 23.528	NO ₂ , PM 2.5	El riesgo estimado de fibrilación auricular fue un 18% mayor en enfermeras que residen en el área urbana por contaminación del aire NO ₂ y PM 2.5 (HR 1.18 IC 95%).
Ma Y, et al. 2023 ³⁸	17. Air pollution, genetic susceptibility, and the risk of atrial fibrillation: A large prospective cohort study.	Reino Unido/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos sin FA N=401.251	PM 2.5, PM 10, NO ₂ , óxido de nitrógeno (NO)	La exposición prolongada a contaminantes del aire aumenta el riesgo de fibrilación auricular, particularmente entre personas con alta susceptibilidad genética (RR PM 2.5 1.044, PM 10 1.003, NO ₂ 1.061, óxido de nitrógeno 1.044 IC 95%).

Autor /Año	Título	País/ Método	Población /Tamaño Muestral	Contaminantes Estudiados	Resultado
Shin S. et al. 2019 ³⁹	18. Ambient Air Pollution and the Risk of Atrial Fibrillation and Stroke: A Population Based Cohort Study	Canadá/ Cuantitativo / cohorte retrospectiva	Adultos de 35 a 85 años sin FA diagnosticada, ni ACV N= 5.071.956	PM 2.5, NO2, O3	La contaminación del aire se asoció con la aparición de fibrilación auricular y accidente cerebrovascular, incluso en concentraciones muy bajas (RR PM 2.5 1.03, NO2 1.02, O3 1.01 y óxido de nitrógeno 1.01 IC 95%) y para accidente cerebrovascular (RR PM 2.5 1.05, NO2 1.04, O3 1.05 y óxido de nitrógeno 1.05 IC 95%). Se observaron asociaciones significativas para todos los contaminantes del aire, la OR para el inicio de la fibrilación auricular PM 2.5 1.38, PM 10 1.19, NO2 1.60 y CO 1.48 con un Intervalo de confianza 95%.
Liu C, et al. 2023 ⁴⁷	19. Application of smart devices in investigating the effects of air pollution on atrial fibrillation onset	China/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos con episodios de FA N= 2.976	PM 2.5, PM 10, NO2 y CO.	La exposición aguda y prolongada a los componentes PM2,5 y la temperatura se asocian con cambios en la repolarización ventricular medida por el intervalo QT, cada aumento de 1,5 µg/m3 en el IQR del sulfato diario se asoció con un aumento de 15,1 ms (IC 95 %: 10,2–20,0] en el intervalo QTc.
Peralta AA, et al. 2021 ³¹	20. Associations between acute and long-term exposure to PM2.5 components and temperature with QT interval length in the VA Normative Aging Study	Estados Unidos/ Cuantitativo / Correlacional	Adultos Hombres N=578	PM 2,5	Se encontró una asociación entre la fibrilación auricular y la exposición moderada a la contaminación del aire tanto a PM 2.5 como a PM 10 en personas implantadas con DAI (OR 1.34 y 1.44 respectivamente IC 95%).
Gallo E, et al. 2020 ⁴⁰	21. Daily exposure to air pollution particulate matter is associated with Atrial Fibrillation in High-Risk Patients	Italia/ Cuantitativo/ correlacional Prospectivo multicéntrico	Adultos con cardiodesfibrilador implantable. N= 145	PM 2.5, PM 10	La contaminación del aire se asoció con un mayor riesgo de aparición de arritmia sintomática dentro de las primeras horas de exposición. Para fibrilación auricular OR PM 2.5 1.7, NO2 1.6, SO2 1.6 y CO 2.0 IC 95%).
Xue X, et al. 2023 ⁴⁵	22. Hourly air pollution exposure and the onset of symptomatic arrhythmia: an individual – level case – crossover study in 322 chinese cities / 2023	China/ Estudio cruzado de casos estratificado	Adultos diagnosticados con arritmia primaria sintomática. N= 190.115	PM 2.5, PM 10, NO2, SO2, CO y O3	

Autor /Año	Título	País/ Método	Población /Tamaño Muestral	Contaminantes Estudiados	Resultado
Hart JE, et al. 2021 ⁴²	23. Long-Term Exposures to Air Pollution and the Risk of Atrial Fibrillation in the Women's Health Initiative Cohort	Estados Unidos/ Estudio de cohorte prospectivo	Mujeres posmenopáusicas entre 50 y 79 años sin antecedentes de FA N= 83.117	PM 10, PM 2.5, SO ₂ y NO ₂	El NO ₂ se asoció consistentemente con fibrilación auricular (RR 1.18 IC 95%). Por otra parte, no se observaron asociaciones adversas con la exposición a PM 10, PM 2.5 y SO ₂ .
Dahlquist M. et al. 2022 ⁴¹	24. Short-term ambient air pollution exposure and risk of atrial fibrillation in patients with intracardiac devices	Suecia/ Estudio de casos estratificado	Adultos mayores de 18 años, se excluyeron los pacientes con diagnóstico de FA crónica. N=91	PM 2.5, PM 10, NO ₂ y O ₃	Se observó un mayor riesgo de episodios de fibrilación auricular con niveles de PM 2.5 durante el intervalo de 48 a 75 horas (OR 1.05 IC 95%). No se observaron asociaciones significativas para PM 10 y NO ₂ .
Han J, et al. 2023 ⁴³	25. The association between air pollution and the daily hospital visits for atrial fibrillation recorded by ECG: a case-crossover study	China/ Estudio de casos cruzados	Adultos mayores de 18 años, se excluyeron los pacientes con diagnóstico de FA. N= 10.863	PM 2.5, PM 10, O ₃ , SO ₂ , NO ₂ y CO	La exposición a corto plazo de NO ₂ se asoció significativamente con las visitas para tratamiento de fibrilación auricular (OR 1.038 IC 95%).

Efectos arrítmicos de los niveles de contaminantes

Con relación a los efectos arrítmicos generados por los altos niveles de contaminación del aire, se puede iniciar describiendo las alteraciones electrocardiográficas asociadas con un mayor riesgo para el desarrollo de arritmias cardíacas o enfermedad cardiovascular. Dentro de las sustancias contaminantes estudiadas, las partículas finas de 2.5 (PM_{2.5}), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃) son las que mayores asociaciones tienen con las variaciones electrocardiográficas^{26,27}. Las principales alteraciones del electrocardiograma (EKG) se relacionan con variabilidad en la frecuencia cardíaca, los cambios en el complejo QRS y en los intervalos QT, intervalo QT corregido (QTc), así como en la repolarización ventricular.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca se ha asociado principalmente con la exposición a PM_{2.5} en un 3.63%, por cada incremento de 10 µg/m³ en la concentración se evidencia un aumento del 8% de latidos prematuros ventriculares^{28,29}. De igual forma, se ha descrito que las PM_{2.5} se asociaron con un 1,21% de los cambios en el QRS y el 0.13% para el intervalo QT, siendo aspectos relevantes ya que se considera que los alargamientos en el QT y QRS son un predictor para la mortalidad cardiovascular y un factor predisponente para la aparición de eventos arritmogénicos²⁷.

Cada incremento de 10 µg/m³ en la concentración de Ozono (O₃) a corto plazo se relaciona con cualquier anomalía en el EKG³⁰. En un modelo multicontaminante se demostró que el aumento de 1,5 µg/m³ del sulfato diario prolonga el intervalo QTc en 15,1 ms, hecho que se hace más atenuante con temperaturas frías que se asociaron con un QTc significativamente largo³¹. Igualmente, se ha descrito que por cada 0,4 µg/m³ adicional en el promedio móvil de nitrato, el intervalo QTc se aumenta en 9.3 ms. De igual forma, se ha determinado que el NO₂ no solo actúa en combinación con otros contaminantes para generar impactos cardiovasculares, sino que también puede actuar como un contaminante independiente que causa directamente las anomalías en el ritmo cardíaco³². Por lo tanto, se afirma que existe una relación casi lineal entre la exposición a los contaminantes del aire y el riesgo de variaciones en el Electrocardiograma. Otras partículas secundarias como el nitrato y el carbono orgánico (CO) mostraron prolongación del intervalo QT, mientras que el carbono elemental disminuyó el intervalo QT³¹. La exposición aguda y prolongada a los componentes PM_{2.5} y la temperatura se asocian con cambios en la repolarización ventricular medida por el intervalo QT.

Adicionalmente de los cambios electrocardiográficos, los estudios han reportado asociaciones significativas y positivas de los niveles de contaminación del aire con el desarrollo de arritmias cardíacas. La exposición a corto plazo a las sustancias contaminantes se asoció con un mayor riesgo de aparición de arritmia sintomática. Los efectos ocurrieron durante las primeras horas y persistieron o se atenuaron a lo largo del tiempo. Las relaciones exposición-respuesta fueron lineales, sin umbrales discernibles de las concentraciones, pero en donde la magnitud varió según el tipo de contaminante, el subtipo de arritmia, la subpoblación y las características geográficas o estacionales.

En el estudio realizado por Halldorsdottir et al., demostraron que existe una asociación entre la exposición diaria al NO₂ y las visitas hospitalarias de emergencia no estratificadas por arritmias cardíacas en el modelo multivariado³². Así mismo, se ha reportado que el aumento en los niveles de contaminación por encima de 10 µg/m³ de partículas finas se asoció con un incremento del 0,584 % (IC del 95 %: p < 0,001) de arritmia cardíaca detectada. Esto también incluye las partículas gruesas (PM 10), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃) que se asocian con un 0.6% de consultas ambulatorias adicionales por arritmia^{29,33,34}. De igual modo, los estudios mencionan que por cada 1 mg/m³ más de monóxido de carbono se aumenta en un 11.3% el riesgo de arritmia. Dentro de las fuentes identificadas de PM 2.5, se ha encontrado que la quema de carbón es la principal fuente asociada con mayores riesgos de latido prematuro supraventricular, contracción ventricular prematura y taquicardia ventricular, con un riesgo relativo estimado de 1.19 a 1.64 con un intervalo de confianza del 95%³⁵.

Dentro de las arritmias cardíacas identificadas se encuentran las contracciones auriculares prematuras o taquicardia auricular, bloqueo auriculoventricular, taquicardia supraventricular paroxística y fibrilación auricular con efectos arritmogénicos inmediatos, retrasados o sostenidos. En este sentido, se encuentra que las PM2.5, que incluyen nitratos, sulfatos, metales y partículas diversas de sustancias químicas, se asociaron con un mayor riesgo de bradicardia y bloqueo de rama derecha a largo plazo³⁵. Por otro lado, las PM10 se relacionaron con un riesgo mayor de bradicardia incidente y contracción auricular prematura a los 12 y 36 meses. La exposición a corto plazo a altos niveles de O₃ se asociaron positivamente con mayores riesgos de arritmias ventriculares, supraventriculares y auriculares, con riesgos relativos que van de 1,02 a 5,47³⁶.

Sin embargo, se puede identificar que la fibrilación auricular (FA) fue la arritmia cardíaca que mayormente se ha asociado con los altos niveles de contaminación del aire. Se ha proporcionado evidencia sólida de que los incrementos de PM2.5, NO₂ y O₃ aumentaron la incidencia de FA y el accidente cerebrovascular, siendo las asociaciones más fuertes para PM2.5 que para los otros tres contaminantes del aire³⁶⁻⁴³. También se ha mencionado que la exposición horaria a PM 10, PM 2.5, NO₂ y CO pueden aumentar significativamente el riesgo de aparición de FA⁴⁴. El efecto se produce inmediatamente después de la exposición y alcanzó su punto máximo en un retraso de 18 a 24 horas, lo que sugiere una asociación entre la exposición crónica a PM2.5 y el desarrollo de esta arritmia. En el estudio de Dahlquist et al., demostraron que los aumentos a corto plazo de PM 2.5 en un ambiente con bajos niveles de contaminación se asociaron con un mayor riesgo de episodios de FA en una población con dispositivos intracardíacos⁴¹.

Cambios fisiopatológicos asociados a los eventos arrítmicos

Los mecanismos fisiopatológicos por los que los niveles de contaminación del aire desencadenan eventos arrítmicos aún no están claros, por lo cual se requiere mayor investigación en este campo. No obstante, se realiza una aproximación fisiopatológica con lo reportado en los estudios. En este sentido se considera que la contaminación del aire altera la actividad electrofisiológica cardíaca al inducir estrés oxidativo, inflamación sistémica, disfunción vascular y coagulación anormal, los cuales podrían afectar a múltiples canales de la membrana y la función nerviosa autónoma, generando un posible desequilibrio del sistema simpático y parasimpático, causado principalmente por la exposición a PM2.5 y al ozono^{27,35,43}.

Esto resultaría en una disminución de la actividad parasimpática cardíaca y una activación compensatoria de la entrada simpática que conduce a una variabilidad de la frecuencia cardíaca y probablemente una reducción del umbral de arritmia²⁷. En este sentido, también se ha mencionado que estos factores, aunados con niveles

elevados de presión arterial, podrían mediar hasta el 47,74% de los riesgos de arritmias atribuibles a la exposición de O₃³⁸. Los mayores riesgos se asociaron significativamente con parámetros indicativos de la función de la actividad cardíaca autonómica, lesión miocárdica y tono vascular. Otro aspecto relevante es el cambio en la morfología del potencial de acción, que se ve reflejado en un acortamiento de la duración a medida que aumenta la concentración de PM y lo que genera un escenario propenso a arritmias. Por otra parte, se ha mencionado que los niveles de contaminantes pueden ocasionar alargamientos del QRS y que esto podría asociarse a la corriente de entrada de sodio y la resistencia extracelular^{27,45}.

Así mismo, se han descrito que la contaminación del aire podría causar alteraciones respiratorias inmediatas, lo que aumenta la presión de la arteria pulmonar, por lo tanto, incrementa la presión intracardiaca y el estiramiento, lo que resulta en un retraso y reentrada de la conducción intraauricular, generando posibles arritmias cardíacas⁴¹. Por último, se ha explicado que la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre ocasionada por los contaminantes del aire puede provocar la vasoconstricción, especialmente de las arterias coronarias, con un consecuente aumento de la presión arterial de manera simultánea o de forma secuencial, lo que genera disfunciones del endotelio vascular y lesión por estrés oxidativo, desencadenando la arritmia⁴³. Las anomalías en la conducción cardíaca son un mecanismo fisiopatológico considerable que vincula los efectos cardiovasculares de la exposición a los contaminantes, por lo que se requiere profundizar en la temática que permita comprender los mecanismos y generar estrategias para minimizar los impactos generados.

Población vulnerable a los efectos arrítmicos de la contaminación del aire

Los resultados de los estudios permiten afirmar que todas las personas pueden desencadenar eventos arrítmicos asociados a altos niveles de contaminación del aire, teniendo en cuenta que los hallazgos en la población sana han evidenciado cambios a nivel electrocardiográfico relevantes de riesgo relativo para el desencadenamiento de arritmias cardíacas^{30,35,36}. Sin embargo, se consolidan algunas características individuales que, sumado a la contaminación, aumentan la probabilidad del evento arrítmico. En este sentido, se puede establecer que la edad se sigue manteniendo como un factor predisponente de la enfermedad cardiovascular y de las arritmias cardíacas, siendo las personas mayores de 65 años más susceptibles a las consecuencias de los contaminantes^{27,32,36,43,46,47}. De igual forma, se ha descrito que los hipertensos, diabéticos, en sobrepeso, obesos, tienen un impacto significativo a la exposición de las partículas finas, por lo que se considera que los individuos con síndromes metabólicos poseen una mayor sensibilidad a los efectos ocasionados por la contaminación^{30,38,41,46,48}.

Otro aspecto considerable que puede ser disonante con la evidencia científica previa es que las mujeres tendrían una mayor predisposición para el desarrollo de arritmias^{29,32,42,43,47,49}, teniendo en cuenta que previamente se ha reportado una gran incidencia cardiovascular en los hombres. Esto es probablemente explicable desde el punto de vista muestral, en donde se presenta una alta proporción de participantes mujeres, por lo que se debe ahondar más en la investigación para determinar estas diferencias de sexo. Por otra parte, dentro del enfoque de vulnerabilidad para los efectos contaminantes se encuentran las personas con estados de bajo peso también presentan una mayor susceptibilidad a sus efectos⁴⁹.

Desde los aspectos conductuales, se reportaron que los individuos con inactividad física, bebedores y fumadores tenían un riesgo elevado de desencadenar eventos arrítmicos asociados a la contaminación^{27,30,38,46}. Los hallazgos de los estudios confirman que las poblaciones urbanas presentan un riesgo significativamente mayor de desarrollar eventos cardiovasculares adversos asociados a la contaminación, en comparación con las poblaciones rurales, en especial aquellos que conviven más cerca de las carreteras principales o de alto flujo vehicular^{27,41,42,49}. Por último, se considera que las estaciones frías podrían aumentar los efectos nocivos de los contaminantes del aire por un aumento en la concentración de los mismos, lo que supondría que las personas expuestas a temperaturas extremas también se encontrarán en un estado de vulnerabilidad^{31,33,47}.

Medidas de prevención para disminuir los niveles de contaminación

Sobre las medidas de prevención para disminuir los impactos cardiovasculares ocasionados por el ambiente, se observa que aún es escasa la evidencia. Algunas de las recomendaciones tienen en cuenta los generadores de la

contaminación y se enfocan en ellos, como por ejemplo la contaminación interior con el empleo de cocinas y/o chimeneas con uso de leña como fuentes de contaminación en el hogar, por lo que la recomendación se basa en hacer un uso limitado o actualizaciones de los elementos a unos menos contaminantes. Por otra parte, se encuentran los derivados de la actividad antropogénica y la urbanización de las poblaciones, en donde la principal recomendación corresponde a la protección personal, referida al uso frecuente de la mascarilla facial en horarios y zonas con altos niveles de contaminación, dado que es una medida de fácil acceso y bajo costo que permite el aislamiento de las partículas contaminantes³⁵. Otra recomendación se asocia con el uso de dispositivos que purifican el ambiente al interior de los hogares. No obstante, se considera una medida poco eficiente por su elevado valor y su capacidad limitada para áreas reducidas.

Por último, se encuentran las recomendaciones alimentarias en donde se promueve el consumo de alimentos con componentes anti oxidativos como los incluidos en la dieta mediterránea. De igual forma, las investigaciones avanzan hacia la implementación de fármacos con efectos antioxidantes, teniendo en cuenta que el estrés oxidativo es el principal mecanismo fisiopatológico para la generación de eventos arrítmicos cardíacos y de otras consecuencias fisiológicas asociadas con la contaminación del aire^{38,43,45}.

Discusión

En este estudio hemos revisado estudios primarios que abordan la asociación de los niveles de contaminación del aire con el desencadenamiento de eventos arrítmicos, teniendo en cuenta que en la actualidad existe un gran número de evidencias que permite comprender el fenómeno desde distintas perspectivas. Los resultados de esta revisión sistemática permiten corroborar los hallazgos previos respecto a que el estar expuesto a partículas finas puede generar alteraciones electrocardiográficas y arritmias cardíacas en poblaciones sanas, como lo reportado en el metaanálisis realizado por Yue C, et al., que mostró asociaciones positivas entre todos los contaminantes y la prevalencia de FA en la población general⁵⁰. De igual forma, se ha identificado que la exposición a las PM 2.5 son las que mayor relación tienen con el desarrollo de episodios arritmogénicos^{51,52}.

Los mecanismos fisiopatológicos por los cuales ocurren estos fenómenos son de gran interés para comprender los efectos de los niveles de contaminación del aire, siendo el estrés oxidativo el principal fenómeno explicativo que se asocia a una serie de sucesos fisiológicos que pueden llevar a la modificabilidad autonómica cardíaca, la lesión endotelial, el daño vascular y los cambios en el potencial de acción. Hechos que también se han descrito en estudios anteriores, como el de Ma et al., que describieron el estrés oxidativo como uno de los ejes explicativos de la patogenia de los eventos cardiovasculares y el impacto en otros sistemas^{38,53}. Concordamos con las precisiones de otras revisiones en que aún es necesario profundizar en los componentes fisiopatológicos para poder generar evidencia sólida frente a estas aproximaciones, teniendo en cuenta que la mayoría se han realizado en modelos animales o de simulación. En los estudios que llevaron a cabo experimentos in vitro, se describió que los contaminantes del aire son capaces de provocar lesión a nivel celular, rompiendo la cadena única como factor para el daño del ADN, demostrando la alta toxicidad generada por las PM, cuyos efectos resultan en una disminución de la velocidad de conducción, promoviendo un aumento de las reentradas auriculares con una fuerte dependencia de la concentración⁵³.

En lo que se refiere a la población vulnerable, encontramos que nuestros resultados coinciden con los hallazgos encontrados por Liu J, et al., en donde los análisis de subgrupos revelaron que las personas mayores de 65 años tenían un mayor riesgo de desarrollar eventos cardiovasculares⁸. Así mismo, se reitera que las secuelas tóxicas de la contaminación son más frecuentes en las mujeres y en las poblaciones que viven en áreas urbanas. En el estudio llevado a cabo por Vallabani et al., se destaca la importancia de promover el uso de mascarillas faciales en horarios y zonas mala calidad del aire como medida para la reducción de los efectos nocivos de los contaminantes⁹, lo que concuerda con lo identificado en nuestra revisión.

Finalmente, las limitaciones evidenciadas en los diferentes estudios seleccionados para esta revisión se relaciona con la recopilación de los datos, teniendo en cuenta que la principal fuente de información de los niveles de contaminación del aire fueron tomados en puntos fijos de monitoreo, por lo que puede considerarse sesgos con relación a la exposición individual, en este sentido, resulta relevante mencionar que en la actualidad estas son

las fuentes de información que manejan los países en relación con la calidad del aire. De igual forma, algunos estudios seleccionados refieren un bajo tamaño muestral, y baja exposición a niveles de contaminación del aire, sin embargo, consideramos que esta limitación no afecta los hallazgos de esta revisión, por el contrario, permite el contraste desde diferentes perspectivas. Otro aspecto que podría considerarse como una limitación propia de esta revisión es que se seleccionaron estudios que abordaran metodologías más de tipo asociativo o de correlación, dado el interés puntual del grupo investigador, por lo que se pueden excluir artículos de un mayor nivel de evidencia científica relacionados con la temática. Evidenciamos que la fortaleza de las publicaciones identificadas para esta revisión tiene muestras poblacionales de gran tamaño y en su mayoría desarrollados en zonas con altos niveles de contaminación, lo que permite identificar de manera precisa los efectos arrítmicos en las poblaciones estudiadas, consolidando los hallazgos reportados.

Conclusiones

La exposición a partículas contaminantes del aire se asocia con el desarrollo a corto y largo plazo de alteraciones electrocardiográficas y eventos arrítmicos en la población en general. El estrés oxidativo se considera como el principal mecanismo fisiopatológico para el desencadenamiento de episodios arritmogénicos, dado que con él se activa la respuesta inflamatoria y con ello la disautonomía cardíaca. Se identifica que existe una mayor vulnerabilidad en las mujeres y las personas mayores de 65 años a los efectos tóxicos de la contaminación y en especial para la aparición de arritmias cardíacas.

Contribución de autores

DMCS Concepción, adquisición, análisis e interpretación de datos, redacción del trabajo y aprobación final de revisión. Responsable de todos los aspectos del trabajo. AOS Concepción, análisis e interpretación de datos y aprobación final de revisión. AYRA Concepción, adquisición, análisis e interpretación de datos, y aprobación final de revisión

JMSR Concepción, adquisición, análisis e interpretación de datos, redacción del trabajo y aprobación final de revisión.

Consideraciones éticas

Al ser un estudio de revisión se considera sin riesgo por lo cual no aplica el aval de un comité de ética. No obstante, se tuvieron en cuenta aspectos como el respeto al derecho de autor con la adecuada referenciación, y los principios de veracidad y transparencia. No se cuenta con registro en la plataforma PROSPERO dado que su registro debe realizarse de manera previa.

Conflicto de interés

Ninguno.

Financiación

Financiado con recursos propios.

Apoyo tecnológico de IA

Los autores declaran el uso de las tecnologías asistidas por Inteligencia artificial (IA) denominada Estilector en la escritura del manuscrito para mejorar la legibilidad y el lenguaje de texto en algunos apartados.

Referencias

1. Naciones Unidas. La contaminación atmosférica causó 8,1 millones de muertes en todo el mundo en 2021. [Internet] [consultado 22 de junio de 2024] Available from: <https://news.un.org/es/story/2024/06/1530631>

2. Organización Panamericana de la Salud. Calidad del aire. [Internet] [consultado 22 de julio de 2024] Available from: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
3. Restrepo JPU, Martínez MLO, Garzón EM. Décimo Informe Técnico Especial Carga de Enfermedad Ambiental. Instituto Nacional de Salud. 2018; 10: 174. Available from: <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Informe-Carga-de-Enfermedad-Ambiental-en-Colombia.aspx>
4. OMS. Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud. 2021 [Internet] [consultado 24 de junio de 2024] Available from: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
5. Jacobsen AP, Khiew YC, Duffy E, O'Connell J, Brown E, Auwaerter PG, et al. Climate change and the prevention of cardiovascular disease. *Am J Prev Cardiol.* 2022; 12:100391. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajpc.2022.100391>
6. Grisales H, Piñeros JG, Nieto E, Porras S, Montealegre N, González D, et al. Local attributable burden disease to PM2.5 ambient air pollution in Medellín, Colombia, 2010–2016. 2021; 10:428. doi: <https://doi.org/10.12688/f1000research.52025.2>
7. Zheng C, Tang H, Wang X, Chen Z, Zhang L, Kang Y, et al. Left ventricular diastolic dysfunction and cardiovascular disease in different ambient air pollution conditions: A prospective cohort study. *Sci Total Environ.* 2022; 831:154872. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154872>
8. Liu J, Hansen A, Zhang Y, Driscoll T, Morgan G, Bi P, et al. Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health.* 2022; 6(6): e484–e495. doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00117-6)
9. Vallabani NVS, Gruziova O, Elihn K, Juárez AT, Steimer SS, Kuhn J, et al. Toxicity and health effects of ultrafine particles: Towards an understanding of the relative impacts of different transport modes. *Environ Res.* 2023; 231(2): 116186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116186>
10. Organización Mundial de la Salud. Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire [Internet] [consultado 24 de junio de 2024]. Available from: <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
11. Organización Mundial de la Salud. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire [Internet] [consultado 24 de junio de 2024] Available from: <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>
12. Münzel T, Sørensen M, & Daiber, A. transportation noise and cardiovascular disease. *Nat Rev Cardiol.* 2021; 18(9): 619–636. doi: <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00532-5>
13. Sagheer U, Al-Kindi S, Abohashem S, Phillips CT, Rana JS, Bhatnagar A, et al. Environmental Pollution and Cardiovascular Disease: Part 1 of 2: Air Pollution. *JACC Adv.* 2024; 3(2): 100805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacadv.2023.100805>
14. Sagheer U, Al-Kindi S, Abohashem S, Phillips CT, Rana JS, Bhatnagar A, et al. Environmental Pollution and Cardiovascular Disease: Part 2 of 2: Soil, Water, and Other Forms of Pollution. *JACC Adv.* 2024; 3(2): 100815. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacadv.2023.100815>
15. Gariazzo C, Renzi M, Marinaccio A, Michelozzi P, Massari S, Silibello C, et al. Association between short-term exposure to air pollutants and cause-specific daily mortality in Italy. A nationwide analysis. *Environ Res.* 2023; 216(3): 114676. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114676>

16. Newman JD, Bhatt DL, Rajagopalan S, Balmes JR, Brauer M, Breyse PN, et al. Cardiopulmonary Impact of Particulate Air Pollution in High-Risk Populations: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2020; 76(24): 2878-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.10.020>
17. Miller MR. Oxidative stress and the cardiovascular effects of air pollution. *Free Radic Biol Med.* 2020; 15(1): 69-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.004>
18. Chuang KJ, Lin LY, Ho KF, Su CT. Traffic-related PM_{2.5} exposure and its cardiovascular effects among healthy commuters in Taipei, Taiwan. *Atmospheric Environ X.* 2020; 7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2020.100084>
19. Avellaneda C, Vivanco RM, Olmos S, Lazcano U, Valentin A, Milà C, et al. Air pollution and surrounding greenness in relation to ischemic stroke: A population-based cohort study. *Environ Int.* 2022; 161: 107147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107147>
20. Patel L, Friedman E, Johannes SA, Lee SS, O'Brien HG, Schear SE. Air pollution as a social and structural determinant of health. *J Clim Change Health.* 2021; 3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2021.100035>
21. Ho AFW, Ho JSY, Tan BY, Saffari SE, Yeo JW, Sia CH, et al. Air quality and the risk of out-of-hospital cardiac arrest in Singapore (PAROS): a time series analysis. *Lancet Public Health.* 2022; 7(11): e932-e941. doi: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00234-1](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00234-1)
22. Centeno M, Chacón G, Vega JA, Gonzalez A, Leitón J. Revisión sistemática de literatura. *Rev Tecnol En Marcha.* 2021; (1): 60-9. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4982>
23. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Syst Rev.* 2021; 10(1): 89. doi: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>.
24. Martínez JD, Ortega V, Muñoz FJ. El diseño de preguntas clínicas en la práctica basada en la evidencia. *Modelos de formulación. Enfermería Global* 15.3 (2016): 431-438. doi: <https://doi.org/10.6018/eglobal.15.3.239221>
25. RedCASPe. Programa de Habilidades en Lectura Crítica Español [Internet] [consultado 28 de mayo de 2022] Available from: <https://redcaspe.org/>
26. Han X, Cao M, Pan Z, Guo J, Huang D, Sun W, et al. Association between long-term exposure to PM_{2.5} constituents and electrocardiographic abnormality: A nationwide longitudinal study in China. *Environ Int.* 2023; 178: 108130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108130>
27. Cao H, Li B, Peng W, Pan L, Cui Z, Zhao W, et al. Associations of long-term exposure to ambient air pollution with cardiac conduction abnormalities in Chinese adults: The CHCN-BTH cohort study. *Environ Int.* 2020; 143: 105981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105981>
28. He F, Shaffer ML, Rodriguez S, Yanosky JD, Bixler E, Cascio WE, et al. Acute effects of fine particulate air pollution on cardiac arrhythmia: The APACR study. *Environ Health Perspect.* 2011; 119(7): 927-32. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1002640>
29. Yang M, Zhou R, Qiu X, Feng X, Sun J, Wang Q, et al. Artificial intelligence-assisted analysis on the association between exposure to ambient fine particulate matter and incidence of arrhythmias in outpatients of Shanghai community hospitals. *Environ Int.* 2020; 139: 105745. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105745>
30. Pan Z, Han X, Cao M, Guo J, Huang D, Sun W, et al. Short-term exposure to ozone and ECG abnormalities in China: A nationwide longitudinal study. *J Hazard Mater.* 2023; 459: 132290. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132290>

31. Peralta AA, Schwartz J, Gold DR, Coull B, Koutrakis P. Associations between acute and long-term exposure to PM 2.5 components and temperature with QT interval length in the VA Normative Aging Study. *Eur J Prev Cardiol.* 2021; 28(14): 1610-1617. doi: <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwaa161>
32. Halldorsdottir S, Finnbjornsdottir RG, Elvarsson BT, Gudmundsson G, Rafnsson V. Ambient nitrogen dioxide is associated with emergency hospital visits for atrial fibrillation: a population-based case-crossover study in Reykjavik, Iceland. *Environ Health.* diciembre de 2022; 21(1): 2. doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00817-9>
33. Wang M, Chen J, Zhang Z, Yu P, Gan W, Tan Z, et al. Associations between air pollution and outpatient visits for arrhythmia in Hangzhou, China. *BMC Public Health.* 2020; 20(1): 1524. doi: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09628-y>
34. Wu JH, Wu Y, Wang ZJ, Tian YH, Wu YQ, Wu T, et al. Ambient Particulate Matter Pollution and Hospital Visits for Cardiac Arrhythmia in Beijing, China. *Biomed Environ Sci.* 1 de julio de 2021; 34(7): 562-566. doi: <https://doi.org/10.3967/bes2021.077>
35. Feng B, Song X, Dan M, Yu J, Wang Q, Shu M, et al. High level of source-specific particulate matter air pollution associated with cardiac arrhythmias. *Sci Total Environ.* 2019; 657: 1285-1293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.178>
36. Liu L, Zhu Y, Xu H, Wang Y, Wang T, Zhao Q, et al. Short-term exposure to ambient ozone associated with cardiac arrhythmias in healthy adults. *Glob Health J.* 2022; 6(1): 6-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2022.01.002>
37. Andersen ZJ, Cramer J, Jørgensen JT, Dehlendorff C, Amini H, Mehta A, et al. Long-term exposure to road traffic noise and air pollution, and incident atrial fibrillation in the Danish nurse cohort. *Environ Health Perspect.* 2021; 129(8): 87002. doi: <https://doi.org/10.1289/EHP8090>
38. Ma Y, Su B, Li D, Cui F, Tang L, Wang J, et al. Air pollution, genetic susceptibility, and the risk of atrial fibrillation: A large prospective cohort study. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2023; 120(32): e2302708120. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2302708120>
39. Shin S, Burnett RT, Kwong JC, Hystad P, Van Donkelaar A, Brook JR, et al. Ambient Air Pollution and the Risk of Atrial Fibrillation and Stroke: A Population-Based Cohort Study. *Environ Health Perspect.* 2019; 127(8): 087009. doi: <https://doi.org/10.1289/EHP4883>
40. Gallo E, Folino F, Buja G, Zanotto G, Bottigliengo D, Comoretto R, et al. Daily exposure to air pollution particulate matter is associated with atrial fibrillation in high-risk patients. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(17): 6017. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17176017>
41. Dahlquist M, Frykman V, Stafoggia M, Qvarnström E, Wellenius GA, Ljungman PLS. Short-term ambient air pollution exposure and risk of atrial fibrillation in patients with intracardiac devices. *Environ Epidemiol.* 2022; 6(4): e215. doi: <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000215>
42. Hart JE, Hohensee C, Laden F, Holland I, Whitsel EA, Wellenius GA, et al. Long-term exposures to air pollution and the risk of atrial fibrillation in the women's health initiative cohort. *Environ Health Perspect.* 2021; 129(9): 97007. doi: <https://doi.org/10.1289/EHP7683>
43. Han J, Zhang R, Guo J, Zheng Q, Chen X, Wu S, et al. The association between air pollution and the daily hospital visits for atrial fibrillation recorded by ECG: a case-crossover study. *Eur J Med Res.* 2023; 28(1): 201. doi: <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01170-y>
44. Dahlquist M, Frykman V, Kemp K, Svennberg E, Wellenius GA, Ljungman P. Short-term associations between ambient air pollution and acute atrial fibrillation episodes. *Environ Int.* agosto de 2020; 141: 105765. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105765>

45. Xue X, Hu J, Xiang D, Li H, Jiang Y, Fang W, et al. Hourly air pollution exposure and the onset of symptomatic arrhythmia: an individual-level case–crossover study in 322 Chinese cities. *Can Med Assoc J.* 2023; 195(17): E601–E611. doi: <https://doi.org/10.1503/cmaj.220929>
46. Zhang Z, Kang J, Hong YS, Chang Y, Ryu S, Park J, et al. Long-term particulate matter exposure and incidence of arrhythmias: A cohort study. *J Am Heart Assoc.* 2020; 9(22): e016885. doi: <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.016885>
47. Liu C, Tai M, Hu J, Zhu X, Wang W, Guo Y, et al. Application of smart devices in investigating the effects of air pollution on atrial fibrillation onset. *Npj Digit Med.* 2023; 6(1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00788-w>
48. Huang C, Tang M, Li H, Wen J, Wang C, Gao Y, et al. Particulate matter air pollution and reduced heart rate variability: How the associations vary by particle size in Shanghai, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021; 208: 111726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111726>
49. Sun W, Han X, Cao M, Pan Z, Guo J, Huang D, et al. Middle-term nitrogen dioxide exposure and electrocardiogram abnormalities: A nationwide longitudinal study. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2023; 266: 115562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115562>
50. Yue C, Yang F, Li F, Chen Y. Association between air pollutants and atrial fibrillation in general population: A systematic review and meta-analysis. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021; 208: 111508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111508>
51. Pallikadavath S, Vali Z, Patel R, Mavilakandy A, Peckham N, Clegg M, et al. The Influence of Environmental Air Pollution on Ventricular Arrhythmias: A Scoping Review. *Curr Cardiol Rev.* 2022; 18(6): e160422203685. doi: <https://doi.org/10.2174/1573403X18666220416203716>
52. Mohammad AS, Mohammad AA, Mohammadreza T, Isa K. Air Pollution and Cardiac Arrhythmias: A Comprehensive Review. *Current Problems in Cardiology.* 2021 Mar; 46(3): 100649. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2020.100649>
53. Palacio LC, Durango G, Zapata C, Santa GA, Uribe D, Saiz J, et al. Characterization of airborne particulate matter and its toxic and proarrhythmic effects: A case study in Aburrá Valley, Colombia. *Environ Pollut.* 2023; 336: 122475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122475>