UNIVERSIDAD DE COSTA RICA | CCP Centro Centroamericano de Población

Doi: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Población y Salud en Mesoamérica

Asociación de la contaminación atmosférica y trastornos mentales en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, período 2016-2019

Mónica Jiménez Seas, Horacio Alejandro Chamizo García, Nicole Villegas González y José Pablo Sibaja Brenes

Cómo citar este artículo:

Jiménez, M., Chamizo, H., Villegas, N. y Sibaja, J. (2025). Asociación de la contaminación atmosférica y trastornos mentales en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, período 2016 – 2019. *Población y Salud en Mesoamérica, 22*(2). https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280

ISSN-1659-0201 http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

Revista electrónica semestral
Centro Centroamericano de Población
Universidad de Costa Rica

Población y Salud en Mesoamérica

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Asociación de la contaminación atmosférica y trastornos mentales en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, período 2016-2019

Association of Air Pollution and Mental Disorders in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica, 2016-2019

Mónica Jiménez Seas[1], Horacio Alejandro Chamizo García[2], Nicole Villegas González[3] y José Pablo Sibaja Brenes[4]

Resumen: Introducción: Diversos estudios han identificado la exposición a dióxido de nitrógeno (NO_2), material particulado (PM_{10}) y otros contaminantes como factor de riesgo para la incidencia de trastornos mentales. Sin embargo, estas asociaciones no se han explorado previamente en Costa Rica. **Metodología**: Se diseñó un estudio ecológico-geográfico a nivel distrital en la Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica. Se obtuvieron datos de eventos de suicidio, intento de suicidio y depresión de 154 distritos del GAM de Costa Rica; junto con datos de dos contaminantes: NO_2 y PM_{10} para un periodo de cuatro años (2016 al 2019). Los datos fueron correlacionados a partir de un modelo de regresión binomial negativa robusta y una regresión ponderada geográficamente. **Resultados**: La asociación entre los contaminantes y suicidio fue positiva, pero no significativa, lo mismo sucedió con la relación entre NO_2 e intento de suicidio. El modelo evidenció una relación negativa pero no significativa entre PM_{10} e intento de suicidio, por su parte el aumento de una unidad de NO_2 (> 40µg/m3) se vinculó con una mayor tasa de incidencia de depresión (cambio porcentual: 9,50 %, IC:5,00 % a 14,00 %). **Conclusión**: Los niveles más altos de contaminación se asociaron con un aumento en la tasa de incidencia de depresión en los distritos del GAM de Costa Rica. No se puede afirmar o rechazar la asociación entre los contaminantes y el suicidio y el intento de suicidio y las variables independientes. Es necesario indagar otras posibles formas de configurar la relación con más variables explicativas.

Palabras clave: epidemiología de los trastornos mentales, dióxido de carbono, material particulado

Abstract: Introduction: Various studies have identified exposure to nitrogen dioxide (NO_2), particulate matter (PM_{10}) and other pollutants as a risk factor for the incidence of mental disorders. However, these associations have not been previously explored in Costa Rica. **Method**: An ecological-geographic study was designed at the district level in the Greater Metropolitan Area (GAM) of Costa Rica. Data on suicide events, suicide attempts, and depression were obtained from 154 districts of the GAM of Costa Rica; along with data on two pollutants: NO_2 and PM_{10} for a period of four years (2016 to 2019). Data were correlated using a robust negative binomial regression model and a geographically weighted regression. **Results**: The association between pollutants and suicide was positive, but not significant, the same happened with the relationship between NO_2 and suicide attempt. The model shows a negative but non-significant relationship between PM_{10} and suicide attempt, while an increase of one unit of NO_2 (> 40µg/m3) was linked to a higher incidence rate of depression (percentage change: 9.50%, CI:5.00% to 14.00%). **Conclusion**: Higher levels of pollution were associated with an increase in the incidence rate of depression in the GAM districts of Costa Rica. The association between pollutants and suicide and suicide attempt and the independent variables cannot be affirmed or rejected. It is necessary to indicate other possible ways of configuring the relationship with more explanatory variables.

Keywords: epidemiology of mental problems, nitrogen dioxide, particulate matter

Reclbido: 02 jun, 2024 | **Corregido:** 18 feb, 2025 | **Aceptado:** 20 feb, 2025

[1] Universidad de Costa Rica, COSTA RICA monica.jimenezseas@ucr.ac.cr
[2] Universidad de Costa Rica, COSTA RICA horacio.chamizo@ucr.ac.cr
[3] Universidad de Costa Rica, COSTA RICA nicole.villegas@ucr.ac.cr
[4] Universidad de Costa Rica, COSTA RICA jose.sibaja.brenes@una.cr

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

1. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 1 de cada 8 personas padecen un trastorno mental en el mundo (OMS, 2022a). Un trastorno mental se define como una alteración cognitiva que afecta la gestión emocional y el comportamiento, limitando el funcionamiento del individuo en la sociedad. Este estado de salud se considera un trastorno cuando los síntomas son persistentes o recurrentes, generando cambios desadaptativos (Hamui, 2019) (OMS, 2022).

Las alteraciones de la salud mental se caracterizan por su impacto incapacitante. Durante casi tres décadas, estos padecimientos fueron responsables del 14 % de los años vividos con discapacidad a nivel global (The Lancet, 2018, p. 1839).

Diversos factores influyen e interactúan en el riesgo de desarrollar una afectación mental; sin embargo, muchas de las variables asociadas a la depresión, el intento de suicidio y el suicidio aún no se conocen con certeza.

Recientemente la búsqueda de factores ambientales asociados a los trastornos mentales se ha ampliado a la exposición a contaminantes del aire. La expansión continua de los núcleos urbanos se ha convertido en una de las problemáticas globales que han traído consigo una cadena de consecuencias ambientales y a la salud por falta de planificación y modernización de las ciudades (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f.; Xiong et al., 2019).

Estudios epidemiológicos sobre la relación entre la contaminación atmosférica y trastornos mentales han evidenciado una tendencia lineal de aumento de casos de depresión, intento de suicidio, bipolaridad y otros padecimientos cuando la población se expone a incrementos de las concentraciones de dióxido de carbono (NO_2) y material particulado (Braithwaite et al., 2019). Investigaciones recientes han comprobado que los compuestos nocivos del aire tienen la capacidad de llegar a todos los órganos después de su absorción, incluso, sobrepasando la barrera hematoencefálica (Gładka et al., 2018; Gładka et al., 2022) y activando marcadores de neuroinflamación (Braithwaite et al., 2019).

Un estudio basado en casi 30,000 casos reveló que el aumento de los niveles de NO_2 incrementa el riesgo de suicidio en personas menores de 30 años (Ng et al., 2016). De manera similar, una investigación en Canadá evidenció la relación entre la contaminación del aire, específicamente el aumento de las concentraciones de material particulado de 10 micras (PM_{10}), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), y el incremento de visitas a los servicios de urgencias por intentos de suicidio. La plausibilidad ambiental de los problemas neuropsicológicos ha sido evidenciada (Guxens y Sunyer, 2012) y particularmente los relativos a la neurobiología de la persona suicida en función de las rutas de exposición ambiental (Furczyk et al., 2013).

En Costa Rica, el "Sexto Informe de la Calidad del Aire: Gran Área Metropolitana 2013-2015" y el "Séptimo Informe de Calidad del Aire del Área Metropolitana de Costa Rica 2017-2018" concluyen que la mayoría de las estaciones de monitoreo cumplen con estándares nacionales, más no cumplen

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

con límites óptimos de la OMS (PM_{10}: 15 µg/m3 y NO_2: 10 µg/m3), cabe destacar que los nacionales son mucho más altos en comparación con lo establecido por la OMS (Ministerio de Salud, 2016; Ministerio de Salud, 2021).

A pesar que no se identifican antecedentes de investigaciones epidemiológicas sobre contaminación del aire y los trastornos mentales en Costa Rica, la evidencia científica internacional sugiere que este podría ser un problema de salud pública. El propósito de la presente investigación fue explorar a nivel ecológico-geográfico la posible existencia de una relación entre la contaminación del aire por NO_2 y PM_{10} con depresión, intento de suicidio y suicidio, en diversos distritos del Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica, para sustentar la hipótesis que sirva de punto de partida para acciones de investigación y vigilancia de la salud.

2. Fundamentos teóricos

Desde un enfoque integral, la salud no es absoluta ni estática si no que oscila continuamente siendo afectada por múltiples factores ambientales, sociales, emocionales y biológicos. Según la OMS (2022b), la salud mental es un estado de bienestar, en el que la persona reconoce sus capacidades y habilidades y además es capaz de utilizarlas en momentos de crisis y en su cotidianidad, lo que le permite contribuir al bienestar social.

En ese sentido, la salud mental presenta un papel crucial en el equilibrio general del organismo ya que tiene el potencial de incidir en funciones fisiológicas fundamentales como el sueño y la respuesta inmune; y al igual que la salud general conserva su característica multicausal (Mebarak et al., 2009)

Diversos estudios epidemiológicos experimentales y no experimentales recientes se han dado la tarea de evidenciar una posible asociación entre la contaminación atmosférica y la salud mental (Braithwaite et al., 2019; Gerlofs et al., 2010; Levesque et al., 2011), convirtiendo las variables ambientales en un factor de riesgo más de la red multicausal de los trastornos mentales. Braithwaite et al. (2019), evidenció que la exposición a PM_{10} está positivamente asociada con la neuroinflamación, manifestada en la activación de células gliales y el aumento del estrés oxidativo, además de los cambios en la estructura cerebral y la mayor producción de cortisol en ratones y humanos que son factores de riesgo de la depresión, el comportamiento bipolar, entre otros.

Con respecto a estudios epidemiológicos no experimentales en Utah se realizó un análisis que evidenció un aumento en la probabilidad de cometer suicidio tras la exposición en el mismo día en el que sucede el evento, así como un aumento en el riesgo por la exposición a material particulado de 2,5 micras ($PM_{2,5}$) y NO_2 días antes del suicidio (Bakian et al., 2015).

Aunque no se ha establecido ni consolidado una ruta fisiológica definitiva, la mayoría de la evidencia apunta hacia la hipótesis de la neuroinflamación (Calderón et al., 2008a; Calderón et al., 2008b). Esta teoría indica que la mala calidad del aire puede provocar un aumento en la activación de las

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

microglias, células inmunitarias residentes del sistema nervioso central (SNC) encargadas de mantener la homeostasis y la respuesta inmune del cerebro (Jayaraj et al., 2017).

Las microglías desempeñan un papel esencial en la neurofisiología, ya que, en condiciones normales, vigilan el estado de las neuronas. Sin embargo, ante la presencia de un agente extraño u anormalidad, estas células activan una respuesta inflamatoria (Martínez et al.,2018 p.46). Si este proceso se mantiene de forma crónica, se genera una liberación persistente de citocinas proinflamatorias (TNFα, IL-1β e INFγ), lo que contribuye al estrés oxidativo y al deterioro neuronal (Morales, Farías, y Maccioni, 2010).

Aunado a lo anterior, se ha estudiado la neuroinflamación como un factor trascendente en la fisiopatología de la depresión, ya que los niveles elevados de microglias proinflamatorias pueden alterar la neurotransmisión y función neuroendocrina, afectando la producción de neurotransmisores vinculados a la regulación del estado de ánimo (Braithwaite et al., 2019). Se trata de cambios fisiológicos que se manifiestan en diversos procesos neuropatológicos.

Por su parte, los avances epidemiológicos han demostrado que puede existir una asociación importante entre las variables a corto o largo plazo, no obstante, es necesario incluir factores como sexo, edad y estación del año ya que tienden a variar entre los estudios y pueden intervenir en el resultado real.

3. Metodología

3.1 Enfoque

El estudio posee un enfoque cuantitativo, el cual es secuencial y busca evidenciar el vínculo entre un fenómeno y el comportamiento de sus variables. Además, la investigación es de naturaleza observacional, lo que significa que no se influye en el comportamiento de los datos. Sigue un diseño de tipo longitudinal de tendencia, debido a que se analizaron los cambios de las variables en el tiempo, considerando la población residente en los distritos estudiados. Asimismo, se caracteriza por ser de corte retrospectivo

3.2 Población de estudio

La población de interés de este estudio comprende los habitantes de los distritos del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, centrándose específicamente en los casos de depresión, intentos de suicidio y muertes por suicidio reportados por el Ministerio de Salud entre 2016 y 2019.

Para la selección de los distritos del GAM que se incluyeron en el estudio se utilizó como referencia la delimitación espacial establecida en el Plan GAM 2013 y el listado del Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana del 2013 al 2030 generado por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, s.f), por lo que se consideraron 154 distritos con disponibilidad de información sobre la exposición, del total (168

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

territorios). Cabe destacar, que el anillo de contención o límite de la GAM no obedece los límites político-administrativos de los distritos por lo que se descartaron del estudio aquellos que se incluyen parcialmente en la GAM.

3.3 Técnicas de recopilación

Para el presente estudio, se emplearon diversas bases de datos de acceso público proporcionadas por distintas instituciones gubernamentales con el propósito de analizar información sobre la relación entre la calidad del aire, la salud mental y la población. Los datos de material particulado (PM_{10}) fueron obtenidos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en las estaciones ubicadas en Escazú, Alajuela, Heredia, Belén y Cartago. Estas bases de datos contenían registros de la fecha de la toma de muestra y la concentración de PM_{10} en $\mu g/m^3$. Cada estación contaba con entre 3 y 11 muestras mensuales durante el periodo 2016-2019. Adicionalmente, se incluyeron los datos de la estación de monitoreo en Coronado, la cual proporcionó mediciones diarias de PM_{10}. Estos datos fueron facilitados por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI).

Los datos sobre dióxido de nitrógeno (NO_2) fueron obtenidos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en San José, Belén y Escazú. En este caso, las mediciones se realizaban mensualmente en cada sitio de muestreo durante el periodo 2016-2019. Las bases de datos incluían la fecha de la muestra, la dirección del sitio de muestreo y la concentración de NO_2 en $\mu g/m^3$. Las bases de datos de calidad del aire fueron proporcionadas por la coordinación del Área de Aire del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Costa Rica, con el visto bueno de la Dirección de Protección Radiológica y Salud Ambiental del Ministerio de Salud, así como de las municipalidades de Belén y Escazú.

Los datos sobre salud mental fueron suministrados por la Secretaría Técnica de Salud Mental. Se incluyó información sobre casos de depresión e intentos de suicidio, desglosados por distrito, edad en grupos quinquenales, sexo y semana epidemiológica. Para el análisis de suicidios, se utilizaron las estadísticas básicas de defunciones del periodo 2000-2020, obtenidas a partir de la Clasificación Internacional de Enfermedades, 10.ª edición (CIE-10, códigos X600-X849). Estos datos estaban organizados por sexo, edad en grupos quinquenales, semana epidemiológica y, en el caso de suicidios, también por mes.

Los datos poblacionales por distrito fueron extraídos de la base de datos de proyecciones de población oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Estas proyecciones, actualizadas para el periodo 2011-2050, presentan la población desglosada por distrito, grupos etarios y sexo. El uso de estas fuentes de datos permitió un análisis detallado de la relación entre la calidad del aire y la salud mental en diferentes regiones de Costa Rica.

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

3.4 Procesamiento de análisis

Se utilizó un diseño ecológico exploratorio donde el propósito fue identificar patrones espaciales o temporales para generar una hipótesis. Este se complementa con un diseño correlacional a nivel ecológico para visualizar la existencia de una correlación positiva o negativa entre las variables.

Se calcularon las tasas crudas y ajustadas por edad de los eventos epidemiológicos para cada distrito obtenidas por método directo, utilizando el programa estadístico STATA® versión 14.0, con los intervalos de confianza (IC: 95%) de Dobson. Se excluye la variable suicidio de la estimación de tasas ajustadas debido a que poseía un menor número total de eventos, por lo que al generarse subgrupos el número de categorías con cero casos se incrementaba (Morris et al., 2018).

Se desarrolló una cartografía de los indicadores de salud calculados por distrito y otros mapas correspondientes a los niveles de contaminación, utilizando el programa QGIS versión 3.14. Dado que los datos de las concentraciones de los contaminantes son tomados por estaciones puntuales o sitios de muestreo pasivos, se realizó una interpolación de las concentraciones con la finalidad de prever un valor estimado a áreas en las que se desconoce su concentración, esto se realizó a través de QGIS versión 3.14 y ArcMap versión 10.4.1.

La interpolación se calculó mediante dos métodos: uno determinista (IDW) y uno analítico geográfico (kriging ordinario), para ambos se siguió el siguiente proceso metodológico en busca de mejores resultados, considerando los siguientes pasos sucesivos: análisis exploratorio de los datos, selección de muestreo aleatorio, realización y ajuste del modelo, validación del modelo y la selección de los modelos con menores valores de error. Lo anterior se efectuó con la finalidad de generar mapas de los indicadores estudiados, zonificando el comportamiento de las variables en espacio y tiempo, lo que a su vez posibilitó la determinación de zonas de exposición a contaminantes.

Para cada representación espacial se estimó el índice de Moran con un nivel de confianza del 95 %, por medio de ArcMap versión 10.4.1, para determinar si existían patrones espaciales agrupados, dispersos o aleatorios y en su defecto si la existencia de conglomerados espaciales se da entre las áreas distritales con valores altos o valores bajos de tasas de enfermedad y de concentración de contaminantes.

Para eso se utilizó como hipótesis nula que los datos se distribuyen aleatoriamente en el territorio en estudio. Un valor p no significativo no permite rechazar la hipótesis nula, por lo que no hay agrupación espacial, por el contrario, un valor p significativo con una puntación z positiva refleja datos agrupados y un valor p significativo con un valor de z negativo evidencia un patrón espacial disperso (ESRI, 2021).

Cuando los resultados evidenciaron un comportamiento de las concentraciones tipo clúster se utilizó la estadística geográfica (kriging), en caso contrario se seleccionó el resultado del modelo

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

determinista (Ponderación de Distancia Inversa IDW). En esta investigación se analizaron de manera descriptiva ambos modelos.

Además, se examinaron las concentraciones de los contaminantes e indicadores de salud según las temporadas (seca y lluviosa) de la Región Central (la cual abarca la GAM). Se clasificaron los datos según los períodos mensuales establecidos por el Instituto Meteorológico Nacional los cuales determinan como estación seca los meses de diciembre hasta marzo y la lluviosa de mayo a octubre, los meses de abril y noviembre son considerados de transición, no obstante, abril fue incluido en la estación seca y noviembre en la lluviosa (Instituto Meteorológico Nacional, 2008).

La asociación entre la calidad del aire (variable independiente) y la frecuencia de los trastornos de salud (variable dependiente) se exploró mediante un modelo de Regresión Binomial Negativa Robusta dado que los modelos de Regresión Lineal y Poisson no cumplieron los supuestos de homocedasticidad de la varianza y sobre dispersión.

Como resultado del modelo de regresión Binomial Negativa, se reportan los coeficientes estimados transformados a razones de tasas (IRR), los errores estándar y los intervalos de confianza (IC:95%). Un IRR mayor a uno evidencia una asociación positiva entre las variables, siempre que sea estadísticamente significativo a un alfa de 0,05 y que el intervalo de confianza dentro de sus límites no incluya el valor de uno (Dagnino, 2014, pp. 319-320).

Adicionalmente, se calculó una regresión ponderada geográficamente (GWR) que permitió visualizar un modelo local de la asociación estudiada, el modelo logra ajustar la ecuación de la regresión a cada unidad geográfica, con el objetivo de identificar variaciones de los coeficientes respecto a las variables independientes que no se pueden observar en un modelo global. Lo anterior se realizó en el programa ArcMap versión 10.4.1.

Asimismo, se aplicó una prueba de autocorrelación espacial (I de Moran) a los errores estándar, para determinar el grado de dispersión, ya que el clúster de predicción excesiva o escasa evidencia la falta de variables explicativas.

4. Resultados

Durante todo el periodo de estudio se reportó un total de 700 suicidios (28,80 por cada 10 000 habitantes), 83 057 casos de depresión (3 418,18 por 100 000 habitantes) y 3 901 eventos de intento de suicidio (159,62 por cada 100 000 habitantes), considerando los distritos del GAM estudiados, las tasas superaron levente los indicadores nacionales para el mismo periodo.

Espacialmente, según el índice de Moran, las tasas de suicidio y las tasas de intento de suicidio no reflejaron autocorrelación espacial (I de Moran suicidio: -0,007764 / Valor z: -0,038791 / Valor p: 0,969057) (I de Moran intento de suicidio: 0,031567/ Valor z: 1,36199 / Valor p: 0,173201) y para las tasas de depresión el índice de Moran permite rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

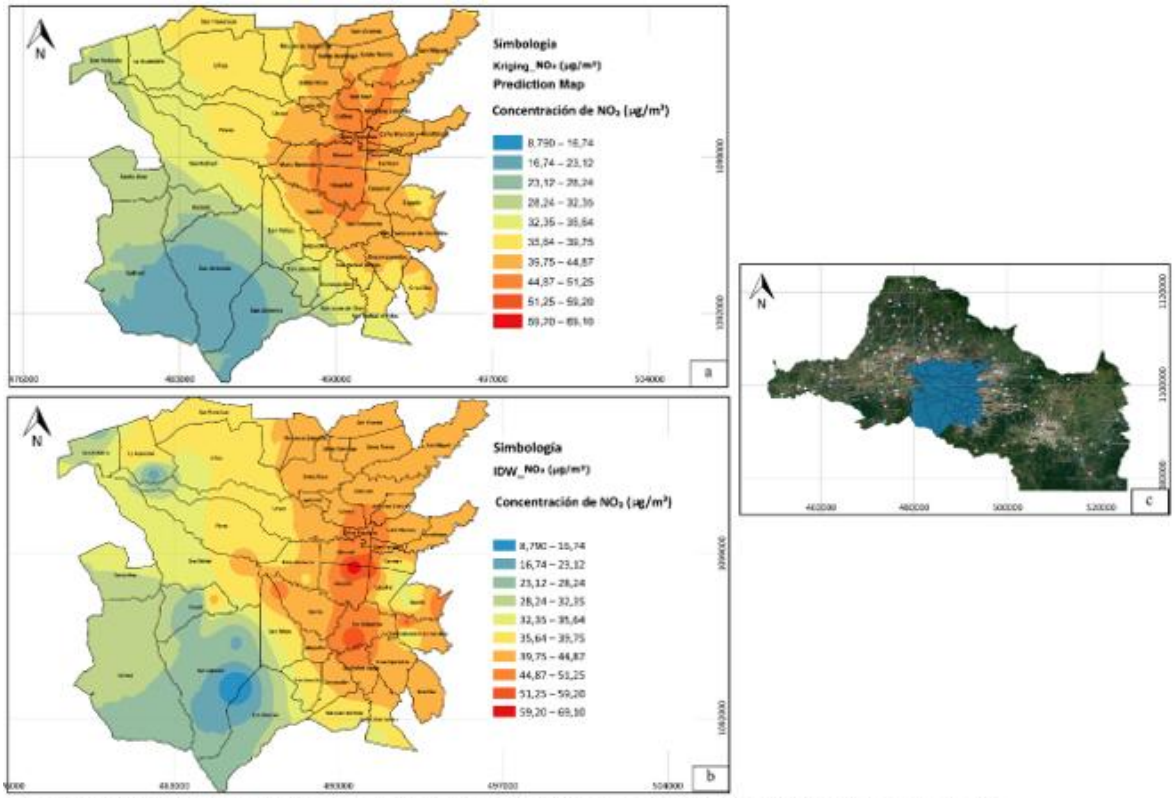
DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

del 95 % (I de Moran: 0,070436 / Valor z: 2,672614 /Valor p: 0,007526), por lo que demuestra una distribución de datos de tipo agrupado, lo que refleja autocorrelación espacial para los valores o tasas altas.

Como resultado del modelado de los valores de concentración de contaminantes captados por los sitios de muestreo para el periodo estudiado se han obtenido dos mapas de predicción para la concentración de NO_2 (Figura 1), por la heterogeneidad en la distribución de los sitios de muestreo las cartografías resultantes abarcan 44 distritos (28,57 % de la GAM).

Figura 1

Predicción de concentraciones de dióxido de nitrógeno para un área del GAM en el periódo del 2016 al 2019



Fuente: Elaboración propia con datos brindados por el Laboratorio de Análisis Ambiental, OVSICORI, Ministerio de Salud y municipalidades, 2022.

Nota: la figura a muestra la predicción calculada por el método kriging, la figura b evidencia la predicción resultante del método IDW y la figura c el área del GAM que abarca la interpolación. El límite superior del rango de concentración se incluye en la primera categoría en la que se menciona.

Las interpolaciones resultantes de ambos modelos tuvieron distribuciones muy similares, en ambas las mayores concentraciones (tonos cálidos) se ubican al este (alrededor de 20 distritos y parte de otros 5) y los valores más bajos se mantienen en el oeste con mayor intensidad en el suroeste. Sin embargo, se distinguen algunas diferencias, por ejemplo, en el método IDW se forman varios núcleos de altas concentraciones las cuales se extienden ligeramente al sureste, cubriendo distritos que se clasificaron como amarillos en el método kriging como Alajuelita y Gravilias.

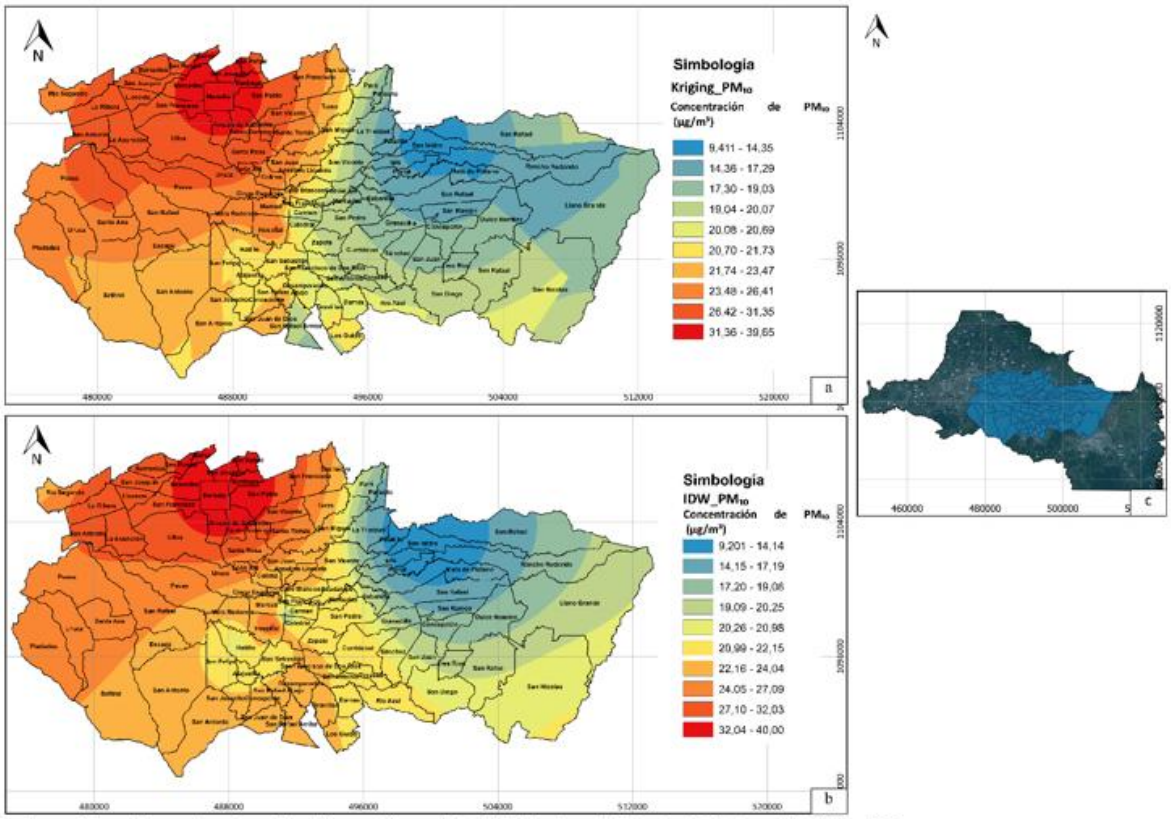
ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Los mapas de predicción de PM_{10} abarcaron 95 distritos (61,68 % de la GAM) por la distribución de las estaciones. El comportamiento espacial de la concentración del material particulado de ambos modelos fue análoga. Las mayores concentraciones se ubicaron al noroeste del territorio y las menores concentraciones en el noreste.

Figura 2

Predicción de concentraciones de partículas de menos de 10 micrómetros para un área del GAM en el periodo del 2016 al 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos brindados por Laboratorio de Análisis Ambiental, Ministerio de Salud y municipalidades, 2022.

Nota: la figura a muestra la predicción calculada por el método kriging, la figura b evidencia la predicción resultante del método IDW y la figura c el área del GAM que abarca la interpolación.

En la figura 1, como resultado de las interpolaciones de NO_2 se obtuvo que el 59 % de las unidades de estudio se clasificaron con un nivel de exposición al contaminante muy alto (> 70 µg/m3), un 25 % alto (51 a 70 µg/m3), un 9 % medio (31 a 50 µg/m3), 1 % bajo (16 a 30 µg/m3) y un 2 % de los distritos en muy bajo (≤ 15 µg/m3). Para PM_{10} (figura 2), un 75 % se clasificó como bajo (11 a 20 µg/m3), un 21 % como medio (21 a 30 µg/m3), un 4 % como muy bajo (≤ 10 µg/m3) y ninguno de los distritos se encontró en la categoría de exposición alto (31 a 40 µg/m3) o muy alto (> 40 µg/m3).

Además, se encontraron variaciones de las concentraciones de ambos contaminantes para el periodo según la temporada. En el caso del contaminante de NO_2, se evidenció un aumento en las

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

concentraciones en la temporada seca, lo contrario sucedió con PM_{10} que aumentó en la temporada lluviosa. La tendencia de las tasas de los eventos epidemiológicos también aumentó en la temporada lluviosa en todos los niveles de exposición, no obstante, este incremento posiblemente se deba a que la temporada lluviosa es más extensa que la seca, lo que permite una mayor acumulación de casos.

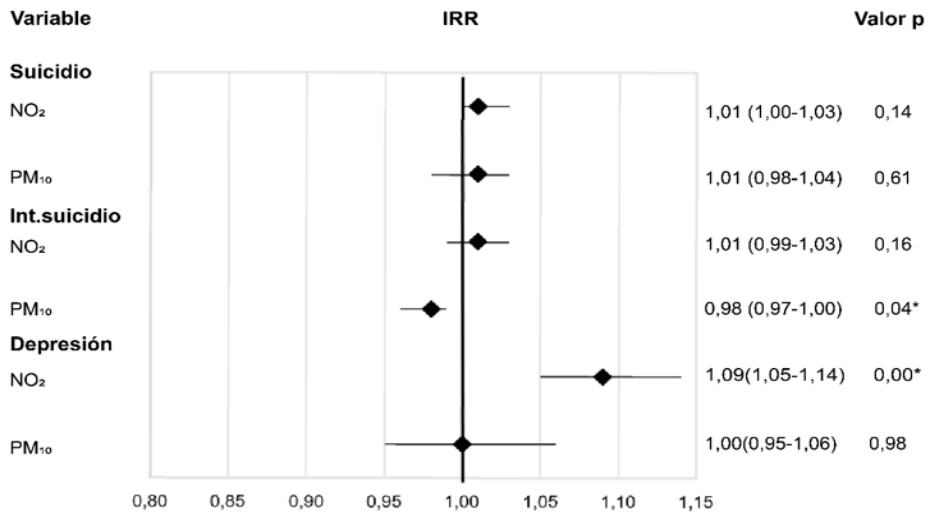
La mayoría de los distritos con las tasas más elevadas de mortalidad por suicidio, tasas de incidencia de intento de suicidio y tasas de depresión se ubicaron en las zonas de exposición a NO_2 clasificadas como muy altas o altas, con algunas excepciones. Por lo contrario, los territorios con mayores tasas de los trastornos se encontraron en zonas con un nivel de exposición a PM_{10} bajo y medio.

Lo anterior evidenció algunas coincidencias espaciales entre los trastornos y el contaminante NO_2, sin embargo, la dirección y la fuerza de asociación entre las variables se evaluó a través de un modelo de regresión binomial robusta. La regresión fue modelada a nivel distrital para el conjunto de eventos de cada trastorno ocurrido entre el 2016 al 2019, se controló la variable de población de cada distrito y se tomó como dato la cantidad de habitantes del año medio del periodo, lo que permitió reportar el comportamiento de la razón de tasas (IRR).

La Figura 3 presenta gráficamente los resultados del modelo de regresión binomial negativa robusta para el total de suicidios, eventos depresión e intento de suicidio. Se obtuvieron solamente dos variables o asociaciones con valores significativos (tomando como nivel de significancia 0,05): la asociación entre intento de suicidio y PM_{10} (valor p: 0,04), y la relación entre depresión y NO_2 (valor p: 0,00).

Figura 3

Resultados de modelo de regresión binomial negativa robusta para la asociación de la incidencia de los trastornos estudiados y los contaminantes NO_2 y PM_{10}



Nota: *Valores significativos a un nivel de significancia de 0,05.

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Para las asociaciones con intento de suicidio, no se observó significancia estadística con ninguna de las dos variables independientes, ya que, aunque el valor de p resulta menor a 0,05 en la variable de PM_{10}, los intervalos de confianza del IRR por fluctuaciones aleatorias incluyen el valor de uno (0,98 (0,97 a 1,00) por lo que no se considera significativa estadísticamente.

En el caso de la depresión la asociación es positiva y fuerte. Para el evento de depresión se obtuvo un valor de 1,095 (1,054 a 1,137), es decir, por cada aumento de 1 unidad de dióxido de nitrógeno se incrementa en 9,5 % la tasa de incidencia de depresión. En cuanto al suicidio ninguna asociación fue significativa. La regresión binomial negativa evidenció la asociación global entre las variables, no obstante, la existencia de conglomerados espaciales significativos implica que los distritos más cercanos tienden a tomar valores similares, en comparación con las entidades más alejadas, lo que puede influenciar el resultado de los métodos globales de regresión (ESRI,2018).

Para identificar la variación que tiene la variable independiente (concentración de contaminantes) en la explicación de la dependiente (tasas de trastornos) en el espacio se generó un modelo de regresión ponderada geográficamente (GWR) El modelo se aplicó en la variable dependiente depresión que presentó autocorrelación espacial, es decir un patrón espacial significativo estadísticamente.

El análisis de la variabilidad espacial de los coeficientes se representa en la Figura 4a y 4b, las unidades en tonalidades naranjas y amarillas representan los sitios donde la concentración de NO_2 y PM_{10} tiene más peso en la explicación de la variable dependiente. En el caso del dióxido de nitrógeno (Figura 4a) los coeficientes más altos se concentran en el este del área interpolada, abarcando alrededor de 35 distritos, los indicadores descienden conforme se acercan al oeste del territorio estudiado.

Las áreas donde la variable explicativa no incide con tanta fuerza (suroeste) concuerdan con los distritos ubicados en zonas con menores concentraciones de dióxido de nitrógeno. En cuanto a los resultados de PM_{10} (Figura 4b), se encuentra que todos los coeficientes son negativos, lo que refleja una relación inversa con la tasa de depresión (por cada unidad de incremento de la variable independiente hay un descenso de la variable dependiente).

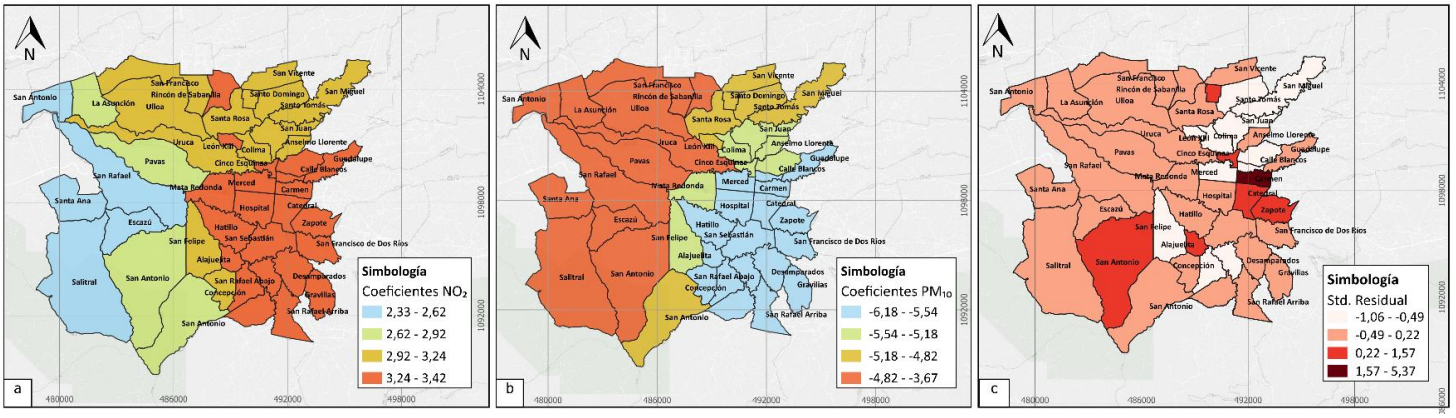
El mapeo de los residuos (Figura 4c) permite evidenciar los sitios donde las tasas fueron más bajas de lo esperado por el modelo (blanco), áreas en las que las tasas se aproximan al valor predicho y áreas donde los valores fueron mayores a las esperados (vino). La prueba de I de Moran aplicada a los residuos de los coeficientes (diferencia entre el valor observado y proyectado) determinó que existe una probabilidad de menos del 10 % en donde el patrón disperso de los residuos pueda ser resultado de un proceso aleatorio, lo cual indica que el modelo necesita más variables explicativas para estar correctamente especificado (I de Moran: -0,118169 / Valor z: -1,705058 / Valor de p: 0,088184).

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Figura 4

Mapas de coeficientes y residuos estandarizados resultantes del modelo de regresión geográficamente ponderada entre dióxido de nitrógeno, material particulado y depresión, 2016-2019



Fuente: elaboración propia, 2022.
Nota: la figura a muestra los coeficientes de dióxido de nitrógeno resultantes de la GWR, la figura b expone los coeficientes de partículas de menos de 10 micrómetros y la figura c expone los residuos estándar de la GWR.

4.1 Discusión

Es conocido el impacto de la contaminación ambiental en la salud mental. Se ha observado que la mala calidad del aire en las ciudades en la India, frente a las zonas rurales, potenciada por otros factores meteorológicos como la inversión térmica, tiene impacto evidenciado científicamente en la calidad del sueño en las personas y la dificultad para afrontar decisiones adecuadas de vida (Balakrishnan & Tsaneva, 2023). En China se identificó que la mejor ventilación en el interior de la vivienda significa menor exposición a gases y partículas, lo que constituye un factor protector de la salud mental, (51% menos probabilidad de desarrollar depresión)(Du et al., 2024). El contacto con agentes neurotóxicos se produce tanto en el interior como en el exterior del ambiente doméstico.

Los sistemas de salud han reportado incremento de las tasas de emergencias por sicosis, neurosis, uso de sustancias, vinculadas al deterioro del aire (incremento de O_3 y PM_{10}) en California, Estados Unidos de Norteamérica. Esto pone en evidencia la importancia que tienen los efectos agudos por exposiciones ambientales y la localización geográfica de zonas peligrosas para orientar acciones preventivas (Nguyen et al., 2021).

En la presente investigación, la cartografía de predicción generadas para las concentraciones de los contaminantes variaron levemente según el método utilizado. Estas diferenciaciones en los modelos pueden deberse a que el modelado por medio de la metodología de kriging elimina valores extremos, con el objetivo de obtener un menor error en la estimación, por lo que aumenta el suavizado, entre las capas generadas. Por otro lado, el método IDW genera puntos de concentración aislados, rodeando los sitios de muestreo, por consiguiente, se observa una extensión de las manchas alrededor de algunos de los sitios analizados (ESRI, 2016).

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

En el presente estudio, la distribución de las concentraciones de los contaminantes calza con algunas dinámicas propias de los núcleos urbanos del GAM, incluso las altas concentraciones coinciden espacialmente con las temperaturas de la isla de calor de la GAM (GIZ, 2021). La disminución de las concentraciones de NO_2 en la temporada lluviosa está confirmada en otras investigaciones donde se ha demostrado que la precipitación tiene la capacidad de eliminar aproximadamente el 50 % del HNO_3 atmosférico en una hora (Figueruelo y Marino, 2012).

Las concentraciones de PM_{10} se elevaron en la temporada lluviosa, este mismo comportamiento se ha evidenciado en otros estudios que concluyen que la relación entre PM_{10} y la precipitación es directamente proporcional, es decir, el incremento de los niveles de precipitación refleja un aumento de las concentraciones de PM_{10} (Arrieta, 2016; Miranda y Ortiz, 2008). Sin embargo, otros factores meteorológicos son influeyentes, la velocidad del viento también es un predictor comprobado de las concentraciones de partículas finas absorbibles (Lin et al., 2022).

A pesar de lo anterior, los resultados obtenidos en la presente investigación sobre el comportamiento de los indicadores de salud según temporada no son concluyentes, puesto que el aumento de las tasas de los trastornos en la temporada lluviosa puede deberse a que esta temporada abarca más meses en comparación con la seca (2 meses más). Sin embargo, es necesario estudiar estas asociaciones, considerando los cambios meteorológicos dado que en otros estudios de la temática, los indicadores incrementan o disminuyen según la estación, por ejemplo, en Tokio se encontraron asociaciones más fuertes en verano (Ng et al., 2016), en Estados Unidos se identificó mayor fuerza de asociación en otoño y primavera (Bakian et al., 2015, p.300).

En la actualidad existen discrepancias en la bibliografía científica en cuanto a la fuerza de asociación entre la contaminación y los efectos en la salud mental, hay estudios que muestran resultados positivos y otros negativos. Esto puede deberse a lo novedoso del tema en todos los tipos de investigaciones, donde son incluidas o no diferentes variables que son consideradas según la percepción del investigador o por la disponibilidad de la información.

Dado que aún no existe una teoría consolidada sobre la relación entre la contaminación y los trastornos mentales, sino únicamente hipótesis, no hay un consenso sobre las variables que deben controlarse en los estudios. Además, la falta de claridad en la ruta fisiológica del contaminante y su impacto en el sistema nervioso, específicamente en el ámbito de la psicología y la psiquiatría, ha dado lugar a investigaciones con metodologías diversas y la presencia de múltiples factores confusores, que no siempre son considerados en todos los estudios.

Sin embargo, algunos estudios más cercanos geográficamente a Costa Rica (México y Colombia) evidenciaron la inexistencia de una asociación entre los contaminantes y el suicidio (Fernández, et al., 2018) o encuentran una relación muy débil (García et al., 2019), esto mismo se ve reflejado en los resultados del suicidio en el modelo del presente estudio, pero no fueron significativos estadísticamente, por lo que no se puede afirmar con certeza la no asociación entre las variables en la GAM de Costa Rica.

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

En la presente investigación, la asociación resultante entre intento de suicidio y PM10 no fue positiva y la relación entre este evento y NO_2 fue positiva, pero no significativa; existen estudios que han demostrado una vinculación entre la exposición aguda a estos contaminantes del aire y el número de visitas a urgencias por intentos de suicidio, con mayor fuerza en los meses fríos (Szyszkowicz et al., 2020). En otros estudios se ha observado que el aumento del rango intercuartil de NO_x y NO_2 así como la exposición a partículas ($PM1_0$) genera un aumento entre el 18-39% en el incremento de trastornos mentales más comunes (Bakolis et al., 2021).

Se hace necesario estudiar estas asociaciones en menores tiempos de exposición, para evaluar su impacto a nivel agudo. No obstante, la exposición a contaminación ambiental se ha asociado también a trastornos mentales crónicos, lo que se ha vinculado, por ejemplo, directamente a la actitud criminal (Kuo & Putra, 2021).

La depresión parece tener mayores estudios de referencia, Medical University of Lublin demostró que 8 de 10 investigaciones de diferentes partes del mundo (con muestras mayores a 500 personas) mostraron una correlación positiva entre la depresión y la alta concentración de contaminantes (incluidos NO_2 y PM_{10}) (Łopuszańska y Studzińska, 2017). En China, el crecimiento productivo acelerado, sobre todo en las ciudades, se ha asociado con la prevalencia de depresión (por cada 100 mg/m3 de PM2.5 se incrementa en 0,279 en la prevalencia de depresión) (He et al., 2020). Asímismo, los trastornos depresivos y de ansiedad se han asociado a la exposición al polvo, identificándose relaciones altas y significativas con la variable tiempo de exposición (Shen et al., 2025) y un incremento significativo en el riesgo de hospitalización en el corto plazo (Cheng et al., 2024). En Alemania, una menor exposición a partículas PM_{10} se vinculó a menor satisfacción con la vida y resiliencia al estrés, la ansiedad y la depresión (Petrowski et al., 2021)

Aunque se ha estudiado en menor medida la relación de la depresión con NO_2 y NO_X, los resultados hasta el momento han sugerido consistentemente una correlación positiva con la depresión (Vert et al., 2017; Kioumourtzoglou et al., 2017; Wang et al., 2014; Pun et al., 2017; Zijlema et al., 2016). En el presente estudio, pese a que la obtención de los resultados del modelo, la IRR es mayor en la relación entre depresión y NO_2, se debe interpretar con cautela ya que se trata de un estudio ecológico, observacional, los cuales son útiles para evidenciar una exposición y un desenlace, pero no necesariamente causalidad.

Dado que los factores de riesgo de la depresión son abundantes y diversos, es difícil determinar el impacto real de la contaminación del aire a los trastornos de depresión. No se ha logrado precisar si la exposición a altas concentraciones de contaminantes funciona como un agente con una ruta directa o indirecta en la red multicausal de la depresión. Se ha llamado la atención sobre la necesidad de mayor investigación para comprender el mecanismo de exposición y riesgo, así como su interacción con factores que generan vulnerabilidad y susceptibilidad (Bhui et al., 2023)

La contaminación puede tener un impacto indirecto. Por ejemplo, la polución del aire puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, las cuales han sido vinculadas a episodios depresivos (Miller et al., 2007; Hong et al., 2002). Esto sugiere una reacción en cadena, donde la

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

exposición a agentes contaminantes no es una condición necesaria ni suficiente para inducir episodios depresivos por sí sola, pero sí podría estar asociada a un mayor riesgo, incrementando la vulnerabilidad de las personas afectadas.

Sin embargo, otros autores establecen que exposiciones constantes a contaminantes pueden generar neuroinflamación asociada con la depresión, sin que necesariamente exista un factor mediador como el de las enfermedades cardiovasculares. En este caso, las altas concentraciones de contaminantes se consideran un factor estresor adicional, capaz de activar las células defensoras del sistema nervioso, como la microglía, entre otras, y desencadenar neuroinflamación. Una exposición constante (crónica) puede hipersensibilizar a la microglía, haciéndola más reactiva ante estímulos provocados por tóxicos o sustancias exógenas (Braithwaite et al., 2019; Raison et al., 2006; Jayaraj et al., 2017).

En el presente estudio, en las zonas donde la contaminación tenía una menor incidencia en la explicación de las tasas de depresión dentro del modelo de regresión ponderada geográficamente, es posible que otras variables tengan un mayor impacto en la depresión. Estas variables podrían influir en el comportamiento de la variable dependiente (trastorno) sin estar necesariamente relacionadas con la contaminación ambiental.

Además, la variabilidad de la variable dependiente no explicada (residuos) se debe a la ausencia de otros factores en el estudio para los que no se cuenta con datos accesibles. Por ejemplo, la presencia de otros trastornos mentales como la ansiedad (u otras comorbilidades) puede considerarse un factor que eventualmente podría afectar la susceptibilidad a los posibles impactos neuropsiquiátricos de exposición a altas concentraciones de contaminantes (Gładka et al., 2022).

Es por ello que, es necesario que se generen más investigaciones ecológicas e individualizadas, que midan el efecto potencial de la contaminación del aire, considerando o controlando las comorbilidades mentales, enfermedades cardiovasculares e incluso al tomar en cuenta la clase socioeconómica, con la finalidad conocer la interacción entre los componentes ambientales y la susceptibilidad individual, que es imperceptible en estudios exploratorios.

5. Conclusiones

Los modelos de correlación ecológica realizados entre los contaminantes atmosféricos NO_2 y PM_{10} medidos y los trastornos mentales reportados arrojaron resultados diferenciados entre ambas variables. El suicidio obtuvo una relación positiva con los contaminantes, pero débil y no fue significativa en ninguna de las dos posibles relaciones, por lo que, los resultados no permiten confirmar ni descartar una asociación significativa.

El modelo generado dio como resultado una asociación positiva, pero no significativa entre los intentos de suicidio y NO_2, con el material particulado la relación fue negativa, pero no significativa. Para depresión se encontró una asociación positiva y significativa con el contaminante de NO_2, evidenciando que con el aumento de una unidad de dióxido de nitrógeno resulta en un aumento

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

del 9,5 % la tasa de incidencia de depresión según el periodo estudiado. La asociación entre material particulado y depresión no fue significativa.

La regresión ponderada geográficamente aplicada evidenció heterogeneidad en la capacidad de explicación de las variables que describen la contaminación por NO_2, en la variable riesgo de depresión. La variable NO_2 tiende a explicar mejor (con menor error) el riesgo de depresión en aquellos territorios que experimentan valores mayores de contaminación. No obstante, es necesario reforzar el modelo con otras variables para alcanzar un mejor ajuste y reducir los residuos, acercando los valores a la realidad.

El estudio presenta limitaciones propias de su diseño ecológico, ya que los resultados a nivel colectivo no implican necesariamente asociaciones causales a nivel individual, sino asociaciones expresadas a nivel de agregado poblacional. Para minimizar este sesgo, los datos fueron analizados en unidades geográficas sin extrapolaciones individuales.

Además, no se incluyeron covariables, que no son comúnmente registradas a nivel ecológico, pero que son relevantes a nivel individual, como tabaquismo, acceso a áreas verdes, nivel socioeconómico o cercanía a vías de alto tráfico, lo que podría modificar la asociación observada.

Asimismo, se identificó un error de no coincidencia espacial, derivado de la diferencia entre unidades administrativas y zonas de monitoreo de calidad del aire. Aunque se realizaron ajustes espaciales, persiste un margen de riesgo. De manera similar, el error de las unidades de área modificable pudo afectar la precisión de la correlación, ya que la agregación de datos a distintos niveles espaciales (distritos, cantones) puede influir en la confiabilidad de los resultados.

Se sugiere para futuros estudios con enfoque ecológico, incorporar otras variables socioeconómicas con datos censales actualizados a fin de controlar factores confusores. Las hipótesis que se esgrimen en la presente investigación abren posibles líneas de trabajo a futuro con datos individualizados que permitan afianzar evidencias causales con fines de toma de decisiones en materia preventiva.

6. Referencias

Arrieta-Fuentes, A. (2016). Dispersión de material particulado (pm10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 16*(2), 43-54. https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5445

Balakrishnan, U., & Tsaneva, M. (2023). *Impact of Air Pollution on Mental Health in India*. *59*(1). https://doi.org/10.1080/00220388.2022.2120804

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Bakian, A., Huber, R., Coon, H., Gray, D., Wilson, P., McMahon, W., y Renshaw, P. (2015). Acute Air Pollution Exposure and Risk of Suicide Completion. *American Journal of Epidemiology*, *181*(5), 295-303. https://doi.org/10.1093/aje/kwu341

Bakolis, I., Hammoud, R., Stewart, R., Beevers, S., Dajnak, D., MacCrimmon, S., Broadbent, M., Pritchard, M., Shiode, N., Fecht, D., Gulliver, J., Hotopf, M., Hatch, S. L., & Mudway, I. S. (2021). Mental health consequences of urban air pollution: Prospective population-based longitudinal survey. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, *56*(9), 1587-1599. https://doi.org/10.1007/s00127-020-01966-x

Bhui, K., Newbury, J. B., Latham, R. M., Ucci, M., Nasir, Z. A., Turner, B., O'Leary, C., Fisher, H. L., Marczylo, E., Douglas, P., Stansfeld, S., Jackson, S. K., Tyrrel, S., Rzhetsky, A., Kinnersley, R., Kumar, P., Duchaine, C., & Coulon, F. (2023). Air quality and mental health: Evidence, challenges and future directions. *BJPsych Open*, *9*(4), e120. https://doi.org/10.1192/bjo.2023.507

Braithwaite, I., Zhang, S., Kirkbride, J., Osborn, P., y Hayes, J. (2019). Exposure to air pollution (particulate matter) and associations with depression, anxiety, bipolar, psychosis, and suicide risk: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives, 127(12*), 1-23. https://doi.org/10.1289/EHP4595

Calderón, L., Mora, A., Ontiveros, E., Gomez, G., Barragán, G., Broadway, J., Chapman, S., Valencia, G., Jewells, V., Maronpot, R., Heríquez, C., Pérez, B., Torres, R., Herrit, L., Brooks, D., Osnaya, N., Monroy, M., González, A., Reynoso, Villareal-Calderón, R. (2008a). Air pollution, cognitive deficits, and brain abnormalities: a pilot study with children. *Brain and cognition, 68(2), 117–127*. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.04.008

Calderón, L., Solt, A, Henríquez, C., Torres, R., Nuse, B., Herritt, L., Villarreal, R., Osnaya, N., Stone, I., García, R., Brooks, D., González, A., Reynoso, R., Delgado, R. y Reed, W. (2008b). Long-term Air Pollution Exposure Is Associated with Neuroinflammation, an Altered Innate Immune Response, Disruption of the Blood-Brain Barrier, Ultrafine Particulate Deposition, and Accumulation of Amyloid β-42 and α-Synuclein in Children and Young Adults. *Patología toxicológica,* 36(2)*, 296–300*. https://doi.org/10.1177/0192623307313011

Cheng, Y., Meng, Y., Li, X., & Yin, J. (2024). Effects of ambient air pollution on the hospitalization risk and economic burden of mental disorders in Qingdao, China. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *97*(2), 109-120. https://doi.org/10.1007/s00420-023-02030-2

Dagnino, J. Riesgo relativo y odds ratio (razón de ventajas). *Revista Chilena de Anestesia. 2014;* 43 (4), *317-321*. https://revistachilenadeanestesia.cl/riesgo-relativo-y-razon-de-ventajas/

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Du, J., Cui, Y., Yang, L., Duan, Y., Qi, Q., & Liu, H. (2024). Associations of Indoor Ventilation Frequency with Depression and Anxiety in Chinese Older Adults. *Indoor Air*, *2024*(1), 9943687. https://doi.org/10.1155/2024/9943687

ESRI. (2016). *Distancia inversa ponderada (IDW)*. https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/geostatistical-analyst-toolbox/idw.htm#S_GUID-BAA893F9-208D-4D7D-807A-18F8BD5CFDAA

ESRI. (2021). *Cómo funciona Autocorrelación espacial (I de Moran global)*, https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm

ESRI. (2018). *Regresión ponderada geográficamente (GWR)*, https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/geographically-weighted-regression.htm

Fernández, J., Astudillo, C., Rodríguez, L., y Florez, V. (2018). Association between air pollution and suicide: A time series analysis in four Colombian cities. *Environmental Health, 17(1),* 47, 1-8. https://doi.org/10.1186/s12940-018-0390-1

Figueruelo, J. y Marino, M. (2012). *Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales*. Editorial Reverté. S.A.

Furczyk, K., Schutová, B., Tanja, M., Tome, J. y Büttner, A. (2013). La neurobiología del suicidio: una revisión de los estudios post mortem. *Revista de psiquiatría molecular, 1(2),2-22*. https://doi.org/10.1186/2049-9256-1-2

García, C., Rodríguez, L., Cortez, M., De la Cruz, J., y Fernández-Niño, J. (2019). Air Pollution and Suicide in Mexico City: A Time Series Analysis, 2000-2016. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(16), 2971.https://doi.org/10.3390/ijerph16162971

Gerlofs, ME., Van D., Cassée, R., Schins, P., Wang, K., y Campbell, A. (2010). Effect of prolonged exposure to diesel engine exhaust on proinflammatory markers in different regions of the rat brain. *Part Fibre Toxicol, 12(7) 1-10*. https://doi.org/10.1186/1743-8977-7-12

Gładka, A., Rymaszewska, J., y Zatoński, T. (2018). Impact of air pollution on depression and suicide. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 31*(6), 711-721. https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01277

Gładka, A., Zatoński, T., y Rymaszewska, J. (2022). Association between the long-term exposure to air pollution and depression. *Advances in Clinical and Experimental Medicine: Official Organ Wroclaw Medical University, 31*(10), 2- 14. https://doi.org/10.17219/acem/149988

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

GIZ. (2021). *Atlas de Servicios Ecosistémicos de la Gran Área Metropolitana, Costa Rica*. https://atlasverde.net/isla-de-calor/

Guxens, M., y Sunyer, J (2012). A review of epidemiological studies on neuropsychological effects of air pollution. *Swiss Med Wkly,* 141, 1-7. https://doi.org/10.57187/smw.2012.13322

Hamui, Liz. (2019). L*a noción de "trastorno": entre la enfermedad y el padecimiento. Una mirada desde las ciencias sociales. Revista de la Facultad de Medicina*, *62*(5), 39-47. https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2019.62.5.08

He, G., Chen, Y., Wang, S., Dong, Y., Ju, G., & Chen, B. (2020). The Association Between $PM_{2.5}$ and Depression in China. *Dose-Response*, *18*(3), 1559325820942699. https://doi.org/10.1177/1559325820942699

Hong, Y., Lee, J., Kim, H. y Kwon, H. (2002). Air pollution: a new risk factor in ischemic stroke mortality. *Stroke: Journal of the American Heart Association*, *33 (9), 2165-2169*. https://doi.org/10.1161/01.str.0000026865.52610.5b

Instituto Meteorológico Nacional. (2008). *El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/el-clima-su-variabilidad-y-cambio-climatico-en-costa-rica/

Jayaraj, R.L., Rodríguez, E.A., Wang, Y., y Block, M. (2017). Outdoor Ambient Air Pollution and Neurodegenerative Diseases: The Neuroinflammation Hypothesis. *Curr Envir Health Rpt, 4, 166–179*. https://doi.org/10.1007/s40572-017-0142-3

Kioumourtzoglou, M., Power, M., Hart, J., Okereke, O., Coull, B., Laden F. y Weisskopf, M. (2017). The association between air pollution and onset of depression among middle-aged and older women. *Am J Epidemiol, 185 (*9), *801–809*. https://doi.org/10.1093/aje/kww163.

Kuo, P.-F., & Putra, I. G. B. (2021). Analyzing the relationship between air pollution and various types of crime. *PLOS ONE*, *16*(8), e0255653. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255653

Lin, S., Zhao, J., Li, J., Liu, X., Zhang, Y., Wang, S., Mei, Q., Chen, Z., & Gao, Y. (2022). A Spatial–Temporal Causal Convolution Network Framework for Accurate and Fine-Grained PM2.5 Concentration Prediction. *Entropy*, *24*(8), 1125. https://doi.org/10.3390/e24081125

Levesque, S., Taetzsch, T., Lull, ME., Kodavanti, U., Stadler, K., Wagner, A., Johnson, J., Duke, L., Kodavanti., Surace, M. y Block, M. (2011). Diesel Exhaust Activates & Primes Microglia: Air Pollution, Neuroinflammation, & Regulation of Dopaminergic Neurotoxicity. *Environmental Health Perspectives, 119(8):1149–1155*. https://doi.org/10.1289/ehp.1002986

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Łopuszańska, U., y Studzińska, M. (2017). The correlations between air pollution and depression. *Curr Probl Psychiatry, 18 (2), 100-109*. http://dx.doi.org/10.1515/cpp-2017-0009

Martínez, R., Estrada, F., Hernández, A., Barajas, A., Islas, S., Navarro, L., y Chavarria, A. (2018). Neuroinflamación: el ying-yang de la neuroinmunología. *Revista de la Facultad de Medicina (México), 61(*5), 44-53. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026 17422018000500044&lng=es&tlng=es.

Mebarak, M., De Castro, A., Salamanca, M. y Quintero, M. (2009). Salud mental: un abordaje desde la perspectiva actual de la psicología de la salud. *Psicología desde el Caribe, (23),* 83-112. http://www.scielo.org.co/pdf/psdc/n23/n23a06.pdf

Miller, K., Siscovick, D., Shepard, L., Pastor, K., Sullivan, J., Anderson, G. y Kaufman, J. (2007). Long-Term Exposure to Air Pollution and Incidence of Cardiovascular Events in Women. [Exposición a largo plazo a la contaminación del aire e incidencia de eventos cardiovasculares en mujeres] *N. ingl. J. Med, 356(5),* 447–458. https://doi.org/10.1056/nejmoa054409

Ministerio de Salud (2016). Sexto Informe de la Calidad del Aire*: GAM 2013-2015*. https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/centro-de-prensa/noticias/727-noticias-2016/938-vi-informe-de-calidad-del-aire-de-la-gam-2013-2015

Ministerio de Salud (2021). *Informe de Calidad del Aire Área Metropolitana de Costa Rica 2017-2018*. Autor.

Miranda, K., y Ortiz, L. (2008). *Evaluación de la concentración de material particulado suspendido pm10 y su relación con la morbilidad asociados a ERA´S en niños menores a catorce años por enfermedad respiratoria aguda en el municipio de Toluviejo (Sucre).* [Tesis de grado]. Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/586/

Morales, I., Farías, G., y Maccioni, B. (2010). La neuroinflamación como factor detonante del desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. *Rev chil neuro-psiquiat, 48*(1), 49 57. https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnp/v48n1/art07.pdf

Morris, J., Tan, J., y Bestwick. (2018). Evaluation of stability of directly standardized rates for sparse data using simulation methods. *Population Health Metrics 19(16), 2-9. https://doi.org/10.1186/s12963-018-0177-1*

Nguyen, A.-M., Malig, B. J., & Basu, R. (2021). The association between ozone and fine particles and mental health-related emergency department visits in California, 2005–2013. *PLOS ONE*, *16*(4), e0249675. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249675

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Ng, C., Stickley, A., Konishi, S., y Watanabe, C. (2016). Ambient air pollution and suicide in Tokyo, 2001–2011. *Journal Of Affective Disorders, 201, 194-202*. https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.05.006

Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/

Organización Mundial de la Salud. (2022a). Trastornos mentales. World Health Organization. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/depression

Organización Mundial de la Salud. (2022b). *Salud mental: fortalecer nuestra respuesta*. World Health Organization. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response

Petrowski, K., Bührer, S., Strauß, B., Decker, O., & Brähler, E. (2021). Examining air pollution (PM10), mental health and well-being in a representative German sample. *Scientific Reports*, *11*(1), 18436. https://doi.org/10.1038/s41598-021-93773-w

Pun, VC., Manjourides, J. y Suh, H. (2017). Association of ambient air pollution with depressive and anxiety symptoms in older adults: results from the NSHAP study. *Environ Health Perspect, 125(3), 342–348*. https://doi.org/10.1289/EHP494

Raison, C., Capuron, L., y Miller, A. (2006). Cytokines is the blues: inflammation and the pathogenesis of depression. *Trends in Immunology, 27(1), 24-31*. https://doi.org/10.1016/j.it.2005.11.006

Shen, Z., Sun, Y., Li, Y., Zhang, Q., Liu, Y., Han, J., Yang, J., Li, J., Ha, Z., Yang, Y., Liu, Z., Guan, S., & Sun, J. (2025). Association of dust exposure with anxiety and depression in the occupational population: The important role of sleep duration. *BMC Public Health*, *25*(1), 358. https://doi.org/10.1186/s12889-025-21520-1

Szyszkowicz, M., Willey, J., Grafstein, E., Rowe, B., y Colman, I. (2020). Air Pollution and Emergency Department Visits for Suicide Attempts in Vancouver, Canada. *Environmental Health Insights, 4*(1), 79-86. https://primo-tc-na01.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/1n8vhrc/TN_cdi_bioone_primary_10_1177_EHI_S5662

The Lancet. (2018). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The lancet, 392, 1789–858*. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Vert, C., Sánchez, G., Martínez, D., Gotsens, X., Gramunt, N., Cirach, M. y Gascon, M. (2017). Effect of long-term exposure to air pollution on anxiety and depression in adults: A cross-sectional study. International Journal of Hygiene and *Environmental Health, 220(6), 1074-1080*. https://primo-tc-na01.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/1n8vhrc/TN_cdi_gale_infotracacademiconefile_A512914191

Wang, Y., Eliot, M., Koutrakis, P., Gryparis, A., Schwartz, J., Coull, B., Wellenius, G. (2014). Ambient air pollution and depressive symptoms in older adults: Results from the MOBILIZE Boston study. *Environmental Health Perspectives, 122(6), 553-558*. https://doi.org/10.1289/ehp.1205909

Xiong, J., Ye, C., Zhou, T. y Cheng, W. (2019) Health Risk and Resilience Assessment with Respect to the Main Air Pollutants in Sichuan. *En t. J. Environ. Res. Salud Pública, 16(15),* 2-9. https://doi.org/10.3390/ijerph16152796

Zijlema, W., Wolf, K., Emeny, R., Ladwig, K., Peters, A., Kongsgård, H., Rosmalen, J. (2016). The association of air pollution and depressed mood in 70,928 individuals from four European cohorts. *International Journal of Hygiene and Environmental Health, 219(2),* 212-219. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.11.006

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/

DOI: https://doi.org/10.15517/psm.v22i2.60280
Volumen 22, número 2, Art. Cient. Enero-Junio 2025

Población y Salud
en Mesoamérica

¿Quiere publicar en la revista?
Ingrese **aquí**

O escríbanos:
revista.ccp@ucr.ac.cr

Población y Salud en Mesoamérica (PSM) es la revista electrónica que cambió el paradigma en el área de las publicaciones científicas electrónicas de la UCR. Logros tales como haber sido la primera en obtener sello editorial como revista electrónica la posicionan como una de las más visionarias.

Revista PSM es la letra delta mayúscula, el cambio y el futuro.

Indexada en los catálogos más prestigiosos. Para conocer la lista completa de índices, ingrese **aquí.**

Scopus · SciELO · DOAJ · latindex · redalyc.org · Dialnet

Revista Población y Salud en Mesoamérica -

Centro Centroamericano de Población
Universidad de Costa Rica

Mónica Jiménez Seas, Horacio Alejandro Chamizo García,
Nicole Villegas González y José Pablo Sibaja Brenes

ISSN-1659-0201
http://ccp.ucr.ac.cr/revista/