

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE TECNOLOGÍAS EN SALUD

Asociación de la contaminación del aire por partículas (PM₁₀) y dióxido de nitrógeno (NO₂) con la incidencia de depresión, intento de suicidio y suicidio en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, en el periodo del 2016 al 2019.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA
EN SALUD AMBIENTAL

Jiménez Seas Mónica

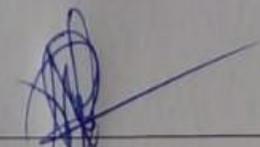
Febrero 2023

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por la Escuela de Tecnologías en Salud de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de licenciatura en Salud Ambiental, el día 25 de enero del 2023.



MSc. César Alfaro Redondo
Director, Escuela de Tecnologías en Salud



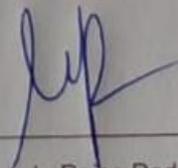
Dr. Horacio Alejandro Chamizo García
Director

Nicole VG

MSP. Nicole Villegas González
Lectora



MSc. José Pablo Sibaja Brenes
Lector



Licda. Marianela Rojas Rodríguez
Profesora Invitada

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Los derechos de propiedad intelectual derivados de esta investigación pertenecen a Mónica Jiménez Seas, cédula 117210727.

Las investigaciones citadas que fundamentan este estudio son propiedad de cada uno de los autores referenciados en el documento.

DEDICATORIA

A los activistas, investigadores, profesionales y población civil que luchan por ambientes saludables y por la salud de las y los más vulnerables.

A quienes conviven con un trastorno mental y a las familias a las que un mal instante de salud mental les ha arrebatado una vida.

A cada una de las personas que en el camino me han motivado a confiar en mis capacidades y potenciarlas.

A la Universidad de Costa Rica por permitirme convertirme en profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia quienes me han apoyado en mi proceso de enseñanza, por ser los primeros en aplaudir cada logro académico y siempre brindar ayuda cuando la necesitaba. Gracias por creer en mí y en mi carrera.

A mis queridas colegas que siempre fueron un lugar donde encontrar empatía, motivación y unión. Agradezco el crecimiento personal y profesional que viví junto a ustedes.

A mis profesores de Salud Ambiental por brindarme las herramientas para desenvolverme como profesional. Especialmente gracias al profesor Lic. Wilfred Zúñiga por siempre llenarnos de inspiración y pasión por la Salud Ambiental.

Al Dr. Horacio Chamizo por ser un tutor en mi vida académica y profesional, por mostrarme lo fascinante y necesaria que es la epidemiología y la salud pública. A la MSP. Nicole Villegas por introducirme a programas estadísticos, por su apoyo y perseverancia en la recolección de los datos y por su perspectiva siempre tan detallada. Al MSc. José Pablo Sibaja por su actitud positiva y disposición, por su ayuda como mediador para la recolección de información y por sus observaciones técnicas.

A las instituciones públicas que hicieron posible esta investigación: Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, Observatorio Vulcanológico de Costa Rica, Municipalidad de Escazú, Municipalidad de San José, Municipalidad de Belén, Secretaría Técnica de Salud Mental y el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica.

Finalmente, gracias a la Universidad de Costa Rica por darme una educación de excelencia y por brindarme las herramientas para crecer como humana, estudiante y profesional.

Índice General

HOJA DE APROBACIÓN	II
DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
I. PLANTEAMIENTO DEL OBJETIVO DE ESTUDIO	10
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
1.2. OBJETIVOS	15
1.3. JUSTIFICACIÓN	16
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. RELACIÓN ENTRE SALUD Y AMBIENTE: SALUD AMBIENTAL	19
2.2. SALUD MENTAL Y SUS DETERMINANTES	21
2.3. TRASTORNOS EN ESTUDIO: DEPRESIÓN Y SUICIDIO	23
2.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: MATERIAL PARTICULADO Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO	26
2.5. TOXICOLOGÍA, CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y EFECTOS A LA SALUD HUMANA	29
2.6. REGULACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL	31
2.7. RELACIÓN ENTRE LOS TRASTORNOS MENTALES Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	33
III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	40
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRATEGIA	40
3.2. DESCRIPCIÓN METÓDICA	41
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	46
3.4. DEFINICIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	49
3.5. DEFINICIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS	51

3.6. CONSIDERACIONES ÉTICAS	58
IV. RESULTADOS	59
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	60
4.1.1. TRASTORNOS EN ESTUDIO	60
4.1.2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE	73
4.1.3. OBSERVACIÓN ESPACIAL DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES Y DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS EN SALUD	95
4.2. ANÁLISIS DEL RIESGO DE SUFRIR LOS TRASTORNOS EN ESTUDIO (SUICIDIO, INTENTO DE SUICIDIO Y DEPRESIÓN) POR LA EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	99
4.2.1. PROBABILIDAD DE PADECER LOS TRASTORNOS EN ESTUDIO POR NIVEL DE EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES NO ₂ Y PM ₁₀ EN EL PERIODO 2016-2019	100
4.2.2. ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES Y DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS EN SALUD	120
4.2.3. CORRELACIÓN DE VARIABLES: MODELO DE ASOCIACIÓN	130
V. CONSIDERACIONES FINALES	138
5.1. CONCLUSIONES	138
5.2. RECOMENDACIONES	143
VI. REFERENCIAS	146
VII. ANEXOS	162

Índice de figuras

Figura 1. Tasa de mortalidad por suicidio por 1 000 habitantes en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, del 2016 al 2019 _____	64
Figura 2. Tasa de incidencia de intento de suicidio ajustadas por edad por cada 1 000 habitantes en el Gran Área Metropolitana de a de Costa Rica, del 2016 al 2019 _____	68
Figura 3. Tasa de incidencia de depresión ajustada por edad por cada 1 000 habitantes del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, del 2016 al 2019 _____	72
Figura 4. Mapa de predicción para concentración de NO ₂ usando kriging e IDW para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019 _____	79
Figura 5. Mapa de predicción para concentraciones de NO ₂ según la temporada usando kriging para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019 _____	82
Figura 6. Mapa de predicción para concentración de PM ₁₀ usando kriging e IDW para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019 _____	90
Figura 7. Mapa de predicción para concentraciones de PM ₁₀ según la temporada, usando IDW para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019 _____	94
Figura 8. Zonas de exposición a dióxido de nitrógeno (NO ₂), tasa de mortalidad de suicidio y tasas de incidencia de depresión e intento de suicidio para el periodo del 2016 al 2019 _____	96
Figura 9. Zonas de exposición de Material Particulado (PM ₁₀), tasa de mortalidad de suicidio y tasas de incidencia de depresión e intento de suicidio para el periodo del 2016 al 2019 _____	97
Figura 10. 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 . _____	131

Índice de gráficos

Gráfico 1. Tasa de mortalidad anual (100 000 hab) por suicidio de la GAM para el periodo del 2016 al 2019	61
Gráfico 2. Segmentación temporal-mensual de los eventos de suicidio ocurridos en el GAM en los años del 2016 al 2019	63
Gráfico 3. Tasa de incidencia bruta (100 000 hab) por intento de suicidio de la GAM para el periodo del 2016 al 2019	66
Gráfico 4. Segmentación temporal-mensual de los eventos de intento de suicidio en el GAM en los años del 2016 al 2019	67
Gráfico 5. Tasa de incidencia bruta (100 000 hab) por depresión de la GAM para el periodo del 2016 al 2019	70
Gráfico 6. Segmentación temporal-mensual de los eventos de depresión ocurridos en el GAM en los años del 2016 al 2019	71
Gráfico 7. Promedio de concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el GAM, para los años del 2016 al 2019	74
Gráfico 8. Tendencia de la concentración mensual promedio de NO_2 en el GAM para el periodo del 2016 al 2019	75
Gráfico 9. Segmentación del promedio temporal en función de la ubicación de los puntos de muestreo según la variación mensual en la GAM considerando el periodo del 2016 al 2019	76
Gráfico 10. Evolución multianual promedio de concentraciones anuales de NO_2 para las estaciones ubicadas en el GAM	77
Gráfico 11. Promedio de concentraciones anuales de material particulado (PM_{10}) en el GAM, para los años del 2016 al 2019	85
Gráfico 12. Tendencia de la concentración mensual promedio de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el GAM para el periodo del 2016 al 2019	86
Gráfico 13. Segmentación temporal del promedio mensual del contaminante PM_{10} en función de las estaciones en la GAM considerando el periodo del 2016 al 2019	87
Gráfico 14. Evolución multianual promedio de concentraciones anuales de PM_{10} de las estaciones ubicadas en el GAM para el periodo 2016 al 2019	88
Gráfico 15. Tasa de mortalidad bruta y razón de tasas estandarizadas (SRR) de suicidio por nivel de exposición de NO_2 , para el periodo del 2016 al 2019	102
Gráfico 16. Tasa de mortalidad y razón de tasas estandarizadas de suicidio por nivel de exposición de PM_{10} , para el periodo del 2016 al 2019	105

Gráfico 17. Tasa de incidencia bruta y razón de tasas estandarizadas de intento de suicidio por nivel de exposición de NO ₂ , para el periodo del 2016 al 2019 _____	108
Gráfico 18. Tasa de incidencia bruta y razón de tasas estandarizadas de intento de suicidio por nivel de exposición de PM ₁₀ , para el periodo del 2016 al 2019 _____	112
Gráfico 19. Tasa de incidencia y razón de tasas estandarizadas de depresión por nivel de exposición de NO ₂ , para el periodo del 2016 al 2019 _____	115
Gráfico 20. Tasa de incidencia y razón de tasas estandarizadas de depresión por nivel de exposición de PM ₁₀ , para el periodo del 2016 al 2019 _____	118
Gráfico 21. Tendencia anual de la tasa estandarizada por edad de suicidio por nivel de exposición a NO ₂ (A) y PM ₁₀ (B), para el periodo del 2016 al 2019 _____	121
Gráfico 22. Tendencia anual de la tasa estandarizada por edad de intento de suicidio por nivel de exposición a NO ₂ (A) y PM ₁₀ (B), para el periodo del 2016 al 2019 _____	122
Gráfico 23. Tendencia anual de la tasas estandarizadas por edad de depresión por nivel de exposición a NO ₂ (A) y PM ₁₀ (B), para el periodo del 2016 al 2019 _____	124
Gráfico 24. Tendencia de las tasas de suicidio por nivel de exposición a NO ₂ (A) y PM ₁₀ (B) según temporada, del 2016 al 2019 _____	126
Gráfico 25. Tendencia de las tasas de intento de suicidio por nivel de exposición a NO ₂ (A) y PM ₁₀ (B) según temporada, del 2016 al 2019 _____	127
Gráfico 26. Tendencia de las tasas de depresión por nivel de exposición a NO ₂ (A) y PM ₁₀ (B) según temporada, del 2016 al 2019 _____	128

Índice de cuadros

Cuadro 1. Conceptos de Salud Mental según diversos enfoques de la salud _____	22
Cuadro 2. Perfiles de activación de las microglías _____	35
Cuadro 3. Definición y operacionalización de las variables _____	46
Cuadro 4. Distritos con mayores tasas de suicidio (por 1 000 habitantes) de la GAM en el periodo del 2016 al 2019 _____	65
Cuadro 5. Distritos con mayores tasas de intento de suicidio ajustadas por edad (por 1 000 habitantes) de la GAM en el periodo del 2016 al 2019 _____	69
Cuadro 6. Distritos con mayores tasas de incidencia ajustada por edad de depresión (por cada 1 000 habitantes) de la GAM en el periodo del 2016 al 2019 _____	73
Cuadro 7. Tasa de mortalidad por suicidio estandarizada por edad y niveles de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	101
Cuadro 8. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para suicidio según nivel de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	103
Cuadro 9. Tasa de mortalidad cruda por suicidio y niveles de exposición a PM ₁₀ , del 2016 al 2019 _____	104
Cuadro 10. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para suicidio según nivel de exposición a PM ₁₀ , del 2016 al 2019 _____	106
Cuadro 11. Tasa de incidencia por intento de suicidio estandarizada por edad y niveles de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	107
Cuadro 12. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para intento suicidio según nivel de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	109
Cuadro 13. Tasa de incidencia por intento de suicidio estandarizada por edad y niveles de exposición a PM ₁₀ , del 2016 al 2019 _____	110
Cuadro 14. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para intento de suicidio según nivel de exposición a PM ₁₀ , del 2016 al 2019 _____	113
Cuadro 15. Tasa de incidencia de depresión estandarizada por edad y niveles de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	114
Cuadro 16. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para depresión según nivel de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	116
Cuadro 17. Tasa de incidencia de depresión estandarizada por edad y niveles de exposición a NO ₂ , del 2016 al 2019 _____	117
Cuadro 18. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para depresión según nivel de exposición a PM ₁₀ , del 2016 al 2019 _____	119

Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de concentración de contaminantes recomendados por la OMS y la normativa nacional _____	32
Tabla 2. Parámetros utilizados para clasificación de distritos según nivel de exposición _____	54
Tabla 3. Resumen de resultados de índice de Moran para los residuos de la GWR de la asociación de concentración de NO ₂ y depresión en algunos distritos de la GAM en el periodo del 2016-2019 _____	135

Resumen

Esta investigación posee un enfoque cuantitativo, no experimental en el que se desarrolla un diseño ecológico y correlacional con el propósito de visibilizar la posible existencia de una relación entre las afecciones en interés y las variables ambientales en el GAM de Costa Rica en el periodo del 2016 al 2019. Se utilizaron los datos de salud de 154 distritos del GAM, información de 10 estaciones de monitoreo de PM₁₀ y 49 sitios de muestreo de NO₂ distribuidos en 27 distritos.

La estrategia metodológica se desarrolló en tres fases. En la primer etapa se realizó un análisis descriptivo de cada una de las variables de manera individual para conocer su comportamiento y tendencia, en la segunda fase se generó un análisis temporal y espacial de las variables que posteriormente permitió clasificar los distritos de la GAM en zonas de exposición a los contaminantes estudiados y en la última etapa se aplicaron modelos de asociación globales y locales para estudiar ecológicamente la relación entre las variables.

Se identificó que las tasas de cada uno de los trastornos tuvieron un comportamiento diferente a través del tiempo de estudio (las tasas de suicidio se mantuvieron, las de intento de suicidio incrementaron y las de depresión descendieron), asimismo las mayores tasas de cada evento se presentaron en grupos etarios y de sexo diferentes. Especialmente el único trastorno que evidenció agrupación espacial fue depresión, en donde los distritos con las tasas más altas se ubicaron en el centro y noreste de San José.

La tendencia de las concentraciones de los contaminantes es estable, oscila mínimamente a través del tiempo, en ninguno de los años en estudio se incumplen los límites nacionales, sin embargo, no se alcanzan los límites óptimos internacionales. La distribución espacial de las concentraciones de NO₂ evidenció que la mayoría de los distritos se encontraban en un nivel de exposición “muy alto” y “alto”, para PM₁₀ la mayor parte de los distritos se clasificaron en un nivel de exposición “bajo”.

Al agrupar las unidades de estudio en zonas de exposición y recalcular los indicadores se encontró que los territorios con niveles de exposición a NO₂ “muy alto”, “alto” y “medio” tenían mayor probabilidad de ocurrencia de casos de depresión y de intento de suicidio en comparación con los distritos ubicados el nivel más bajo de exposición, en cuanto al suicidio no se identificó un incremento de la probabilidad de ocurrencia del evento conforme se aumenta el nivel de exposición a NO₂ o PM₁₀. El

comportamiento de los indicadores de salud según los niveles de exposición a PM_{10} fue inverso para depresión e intento de suicidio.

El modelo de correlación mostró una asociación positiva y significativa entre NO_2 y depresión, el resto de las relaciones posibles no se lograron ajustar significativamente.

Palabras clave: aire, ambiente, dióxido de nitrógeno, material particulado, contaminación, ciudad, salud mental, salud ambiental, suicidio, depresión, intento de suicidio, epidemiología.

Jiménez, M. (2023). Asociación de la contaminación del aire por partículas (PM_{10}) y dióxido de nitrógeno (NO_2) con la incidencia de depresión, intento de suicidio y suicidio en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, en el periodo del 2016 al 2019 [Tesis para optar al grado de licenciatura en Salud Ambiental]. Universidad de Costa Rica.

Director: Dr. Horacio Alejandro Chamizo García

INTRODUCCIÓN

La sociedad humana se ha caracterizado por la búsqueda constante del desarrollo, en muchas ocasiones apostando principalmente por el crecimiento económico, dejando de lado los temas sociales y ambientales, eso ha llevado al incremento de efectos negativos en la calidad de vida de la población y se ha convertido en uno de los principales desafíos mundiales. Lo anterior se evidencia en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en donde alrededor de 8 del total poseen una relación directa o indirecta con prácticas ambientales que abarcan desde lo global hasta lo local (ONU, s.f.).

La expansión continua de los núcleos urbanos se ha convertido en una de las problemáticas globales que ha traído consigo una cadena de consecuencias ambientales y a la salud por falta de planificación. La construcción de ciudades que alcancen el equilibrio con los elementos ambientales y sociales se han convertido en uno de los mayores desafíos para los tomadores de decisiones (ONU, s.f.).

En ese sentido, el entendimiento de los efectos de las zonas urbanas y sus presiones (industrialización, sobreproducción de residuos, alta demanda de energía y transporte) en los componentes ambientales son un paso fundamental para tomar acciones que mejoren la calidad de vida y la salud de la población. La presente investigación estudia uno de los componentes ambientales (calidad de aire) y su relación con la incidencia de eventos reflejados en la salud mental de partes de la población del área metropolitana.

Por tanto, la principal intención de la investigación es explorar la posible existencia de una relación entre las variables en estudio (contaminación del aire por NO₂ y PM₁₀ y depresión, intento de suicidio y suicidio) en diversos distritos del Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica. Esto se llevó a cabo mediante el análisis ecológico y estadístico de los datos recolectados por la Red de Monitoreo del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional (LAA-UNA), el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, algunos gobiernos locales como la Municipalidad de San José, Municipalidad de Escazú y la Municipalidad de Belén y los datos de salud generados (número de casos de intento de suicidio y depresión por distrito, sexo, edad y mes) por el Ministerio de Salud (MS) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (Mortalidad por suicidio por distrito, edad, sexo y mes) (INEC).

Con respecto a la posible relación en estudio, diversos grupos de investigación han encontrado asociaciones estadísticas y experimentales positivas entre la población y

la polución del aire (ver anexo 1). La importancia de lo anterior radica en el aumento de la carga mundial dada por los trastornos mentales (OMS, 2017) y por el papel de la exposición a la contaminación en el modelo de desarrollo establecido en las ciudades que intervienen en la calidad de vida.

Debido a lo expuesto, es necesario que sean identificadas y estudiadas la mayor cantidad de variables posibles que podrían estar involucradas en las afecciones de la salud mental, de manera que, el propósito del estudio en cuestión es visibilizar la posible existencia de una relación entre las afecciones en interés y las variables ambientales: concentraciones de PM₁₀ y NO₂. A su vez, se pretende generar una base investigativa (hipótesis) que dé lugar a posibles y nuevas investigaciones en dicho tema.

El desarrollo de este trabajo implica un acercamiento entre la salud mental y la salud ambiental, siendo la presente una investigación innovadora por el estudio de la salud mental a nivel colectivo y la influencia de la calidad del aire en el comportamiento de los eventos de salud estudiados. Asimismo, refleja la importancia de potenciar las investigaciones de temas socioambientales en relación con la salud humana, de modo que se evidencie la necesidad de invertir en el control de variables ambientales como determinantes de la salud de la población.

I. PLANTEAMIENTO DEL OBJETIVO DE ESTUDIO

1.1. Problema de investigación

La ineficiente gestión de los recursos naturales y antropogénicos se evidencia en la destrucción y deterioro del medio que, paralelamente, impacta la salud humana por la exposición a ambientes insalubres durante el desarrollo de acciones cotidianas. Según la Organización Mundial de la Salud (2016b) para el 2012, se atribuyeron un poco más de 12 millones de muertes en la esfera global a causas relacionadas con ambientes insalubres, lo que representa un 23 % (95 % Intervalo de Confianza: de 13 % a 34 %) de las muertes mundiales.

Las cifras anteriores evidencian que las condiciones ambientales en las que se desarrolle una población inciden en la situación de salud, por tanto, se verá reflejado en desafíos que tendrán que enfrentarse desde la salud pública. Los factores de riesgo ambientales (aire, agua, suelos contaminados, exposición a sustancias químicas y todos aquellos producto del cambio climático) son responsables de alrededor de 100

enfermedades o traumatismos (OMS, 2016a, párr. 1) que impactan cada año la salud de la población.

Los accidentes cardiovasculares, neumopatías crónicas, infecciones respiratorias, enfermedades diarreicas, traumatismos involuntarios, cánceres, cardiopatías isquémicas, afecciones neonatales, entre otras son algunas de las causas de muerte producto de las condiciones del medio (OMS, 2016a). A pesar de que varios de los eventos mencionados no provocan la muerte de forma inmediata, reducen considerablemente la calidad de vida de la población afectada y generan altos costos relacionados a la atención de la salud.

Pese al esfuerzo en salud ambiental de muchos países que reflejan sus compromisos en normas o estrategias, los riesgos de tipo tradicional (saneamiento básico insuficiente, contaminación del aire por uso de energías ineficientes, inadecuada disposición de residuos, desastres naturales, entre otros), persisten en los ambientes rurales y urbanos. Con la expansión de las sociedades urbanas se incrementa la demanda de recursos necesarios para su subsistencia y es indispensable tomar en cuenta que en la actualidad alrededor de un 50 % de la población se concentra en las ciudades, proporción que se espera que aumente a más del 70 % para el 2050 (ONU, sf).

Lo anterior se traduce en mayor consumo de energía, mayor ocupación del espacio, aumento de la flota vehicular entre otras cosas, que a falta de planificación producirían impactos sociales, ambientales y, por lo tanto, en la salud (OMS, 2018b). Es por lo que, los entornos urbanos con una planificación y gestión deficiente suponen por sí mismos un riesgo para sus habitantes, ya que comúnmente se caracterizan por poco o nulo ordenamiento territorial, insostenibles sistemas de transporte, reducidas zonas verdes, entre otras variables que afectan climáticamente; esto a su vez dificulta la obtención de una calidad de vida saludable (OMS, 2018b).

Ahora bien, una de las problemáticas ambientales más notorias de las ciudades es la contaminación del aire debido a la alta flota vehicular y las industrias. La OMS calculó en el 2012 que siete millones de muertes dadas cada año se atribuyen a la contaminación atmosférica, es decir una de cada ocho del total de muertes en el mundo (Mitchell, 2014).

Para el 2016, más del 90 % de la población habitaba en sitios con niveles de contaminación que sobrepasaban los límites de calidad del aire establecidos por la (OMS, 2018a). Adicionalmente, solo en América aproximadamente 131 mil muertes en países de bajos ingresos y 96 mil muertes en países de altos ingresos son consecuencia de la contaminación ambiental interna o externa (Mitchell, 2014).

Esta investigación se centra en el material particulado y el contaminante gaseoso NO₂ como contaminantes atmosféricos debido a que la mayoría de estudios epidemiológicos que han investigado la relación entre la contaminación atmosférica y trastornos mentales han encontrado una tendencia lineal de aumento de casos de depresión, intento de suicidio, bipolaridad y otros padecimientos cuando la población se encuentra expuesta a incrementos de las concentraciones de los contaminantes NO₂ y material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) (Braithwaite et al., 2019).

Por otra parte, los entes internacionales de salud mediante estudios e informes han demostrado que la contaminación del aire incrementa los niveles de morbilidad y mortalidad principalmente por enfermedades cardiovasculares y respiratorias. No obstante, investigaciones recientes han evidenciado que los compuestos nocivos del aire tienen la capacidad de llegar a todos los órganos, incluso, sobrepasando la barrera sanguínea cerebral (Gładka, Rymaszewska y Zatoński, 2018, p.711) (Gładka, Rymaszewska y Zatoński, 2022).

Diversos estudios e investigaciones epidemiológicas experimentales y no experimentales han establecido las bases para demostrar una vinculación existente entre la mala calidad del aire y su impacto en la salud mental, incluidas condiciones psiquiátricas, neurodegenerativas, depresión y suicidio. Por ejemplo, la exposición a PM₁₀ y PM_{2,5} ha sido asociada con marcadores de neuroinflamación, con la activación de las células gliales y estrés oxidativo en humanos y roedores (Braithwaite, et al., 2019, p.128).

Asimismo, hay evidencia emergente que sugiere la existencia de una relación entre los contaminantes en estudio y diversos efectos cognitivos en las personas que habitan lugares con altos niveles de contaminación, estos efectos se lograron observar en todos los grupos etarios (Clifford et al., 2016, p.394). De igual manera, se identificó una correlación positiva entre la exposición aguda a PM₁₀ y el riesgo de suicidio en un lapso acumulado de 0 a 2 días después de la exposición y una relación entre la exposición a corto plazo a altos niveles PM₁₀ y PM_{2,5} y el riesgo de sufrir depresión (Braithwaite et al., 2019, p.127).

En esta misma línea, un estudio basado en 29 939 casos evidenció que al aumentar los niveles de NO₂, se incrementó de riesgo de suicidio en personas menores de 30 años (Ng et al., 2016). Una investigación similar en Canadá evidenció el vínculo entre la contaminación del aire (aumento de las concentraciones de PM₁₀, CO y NO₂) y las visitas al servicio de urgencias por intentos de suicidio, en este estudio además se

incluyó la temperatura y humedad relativa en el análisis cruzado estratificado en el tiempo (Szyszkowicz et al., 2010, p.83).

La plausibilidad de esta asociación es reforzada con investigaciones sobre efectos neuropsicológicos producto de la contaminación atmosférica (Guxens y Sunyer, 2012) y estudios de neurología del suicida (Furczyk et al., 2013) que han propuesto diversas rutas en las que la contaminación del aire puede ser un factor significativo para inducir el comportamiento suicida. Esto resulta importante ya que, el suicidio se ha convertido en uno de los impactos con mayor relevancia para la salud pública, aproximadamente 700 mil personas se quitan la vida cada año, y existen aún más casos de intento a nivel mundial. Además, en el 2016 fue considerada la segunda causa de mortalidad entre las edades de 15 años a 29 años a nivel mundial (OMS, 2019).

Relacionado con lo anterior, “más de 300 millones de personas en el mundo sufren depresión, un trastorno que es la principal causa de discapacidad, y más de 260 millones tienen trastornos de ansiedad. De hecho, muchas personas padecen ambas afecciones.” (OMS, 2017, párr.3). Además, las personas con trastorno depresivo mayor poseen de un 40 % a 60 % mayor probabilidad de sufrir muertes prematuras que el resto de la población (OMS, 2013).

Incluso un estudio de la OMS demuestra que existen pérdidas productivas de 1 billón de dólares al año debido a trastornos de la salud mental (OMS, 2017), y se estima “que el impacto mundial acumulado de los trastornos mentales en términos de pérdidas económicas será de US\$ 16,3 billones entre 2011 y 2030” (OMS, 2013, p.8).

Cabe destacar, que a nivel del continente americano 65 mil personas se suicidan al año, se estima que este dato sea aún mayor en la realidad ya que en este tipo de eventos suele existir una subestimación de casos. Adicionalmente, se calcula que detrás de cada suicidio se han presentado al menos unos 20 casos de personas que intentaron terminar con su vida (OPS, s.f.).

Según el estudio de la Carga Global de Enfermedad (CBD por sus siglas en inglés) del 2017 que incluye datos de 195 países y 359 causas, los trastornos mentales se encuentran dentro de las causas que ha tenido un aumento significativo en el indicador de Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD-DALY) entre el periodo del 2007 al 2017, se determina que la depresión es el evento que más contribuye al indicador (540,5 años, 382,4 años a 737,8 años). En general, los trastornos mentales han sido los responsables constantemente de más del 14 % de los años de vida vividos con discapacidad (YLD) durante casi 3 décadas a nivel mundial (Murray et al., 2018).

A nivel de Costa Rica, la atención a los trastornos mentales se refuerza a partir de la creación y la publicación de la Política Nacional de Salud Mental del 2012 al 2021 y con la inserción del intento de suicidio en el Decreto de Notificación Obligatoria (N.º de gaceta: 203 del 22/10/2012) que inicia y enfatiza el abordaje de intento de suicidio en el país (Poder Ejecutivo, 2018, p.16).

Relacionado con lo anterior, el "Estado del suicidio en Costa Rica. Periodo 2014-2018" informa que durante esos años hubo un incremento de intentos de suicidio. La tasa más alta (41,6 por cada 100.000 habitantes de los casos) se presentó en el 2018, para este mismo año el crecimiento de casos de intento de suicidio fue evidente en todas las provincias del país, con mayor incidencia el grupo etario de 15 años a 29 años. Otro patrón importante, es que en los suicidios reportados predominan los hombres (85 % del total de casos), no obstante, las mujeres poseen una mayor tasa de intento de suicidio (Comisión Técnica Interinstitucional sobre Estadísticas de Convivencia y Seguridad Ciudadana, 2019) (Ministerio de Salud, 2016b).

Con respecto a la contaminación atmosférica, el Sexto Informe de Calidad del Aire del Gran Área Metropolitana del 2013 al 2015 y el Séptimo Informe de Calidad del Aire del 2017 al 2018 concluyen que en muchas de las estaciones los niveles de PM₁₀ y NO₂ cumplen con los estándares de calidad de aire nacionales, más no cumplen con los límites internacionales establecidos por la OMS (Ministerio de Salud, 2016a, p.61) (Ministerio de Salud, 2021a).

Cabe destacar, que los límites nacionales difieren de los internacionales, los establecidos por la OMS son menores y proponen reducciones graduales. En cuanto al comportamiento del contaminante PM₁₀ en términos generales es constante en la red de monitoreo, a pesar de ello en algunas estaciones puntuales se presentan descensos significativos (Ministerio de Salud, 2021a).

Por su parte los datos de NO₂ cumplen con la normativa nacional, no obstante, en las mediciones dadas por la red pasiva se encontró que al 2018 cerca de un 40 % de los sitios de monitoreo de NO₂ presentan un incumplimiento con el criterio de promedio anual de la OMS de 40 µg/m³ (para ese año). Además, se observó una tendencia hacia el aumento en los promedios anuales de los años estudiados, con una tasa anual promedio de aproximadamente del 4 %. Es importante destacar que algunos de los picos dados en el 2017 se deben a eventos volcánicos o naturales como los polvos del Sahara, asimismo los sitios de muestreo que presentaron mayores concentraciones de PM₁₀ corresponden

a estaciones cercanas a zonas productoras industriales y de alto flujo vehicular (Ministerio de Salud, 2021).

Finalmente, entre las causas de trastornos en estudio, se destacan diversos factores individuales que no serán tomados en cuenta por la carencia de datos tales como: alcohol, abuso, situaciones difíciles o aislamiento social; sin embargo, no se debe subestimar la influencia de las variables ambientales en los eventos estudiados. A pesar de ello, la evidencia de los posibles efectos de contaminación del aire en la salud mental es incipiente. Es por consiguiente que se plantean las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la distribución espacial de los niveles de contaminación del aire por NO₂ y PM₁₀ en la GAM de Costa Rica?
- ¿Cuál es la relación entre la contaminación atmosférica por PM₁₀ y NO₂ y la incidencia de suicidio, intento de suicidio y depresión en la GAM de Costa Rica en el periodo del 2016 al 2019?

1.2. Objetivos

■ General:

Analizar exploratoriamente la incidencia de depresión, intento de suicidio y suicidio asociados con la contaminación atmosférica por PM₁₀ y NO₂, en el Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica, en el periodo del 2016 al 2019.

■ Específicos:

1. Identificar las zonas con mayor contaminación atmosférica de la GAM y las áreas con mayores tasas de depresión, intentos de suicidio y suicidio.
2. Describir el comportamiento espacio temporal del riesgo de presentar los trastornos en estudio (depresión, intento de suicidio y suicidio) asociado con la contaminación atmosférica de la GAM.
3. Explorar la relación a nivel ecológico entre las zonas con mayor contaminación atmosférica de la GAM y las áreas con mayores tasas de suicidio, intento de suicidio y depresión.

1.3. Justificación

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son una serie de medidas internacionales que se plantean con la finalidad de dar solución a problemáticas globales, están conformados por 17 objetivos y Costa Rica es una de las partes comprometidas para el cumplimiento de estos. En este sentido, el presente trabajo aporta a diversos objetivos, entre ellos al número tres, “Salud y Bienestar”, específicamente en la meta 3.4 el cual establece que se debe “reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante la prevención y el tratamiento, y al promover la salud mental y el bienestar” (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f., meta 3).

Ese mismo objetivo en la meta 3.d establece la necesidad de fortalecer la capacidad de los países en la alerta temprana y en la reducción, manejo y control de los riesgos para la salud (ONU, s.f.), para ello es necesario generar estudios epidemiológicos que ayuden a identificar variables que deben ser controladas para gestionar de manera preventiva eventos de salud de importancia para la salud colectiva.

Además, el estudio es compatible con el undécimo objetivo, “comunidades y ciudades sostenibles”, concretamente en la meta 11.6 en la cual se menciona que se debe hacer un esfuerzo en “reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo” (ONU, s.f., meta 11). La presente investigación funcionaría como una evidencia de los impactos de la dinámica de la ciudad en el aire y sus posibles efectos en la salud de los ciudadanos.

A nivel regional, se beneficiará el Observatorio Subregional de Conducta Suicida para Centroamérica y República Dominicana que recolecta información y permite caracterizar los riesgos en la población en general, con la finalidad de comprender el comportamiento real de la conducta suicida en la población, por lo que el estudio puede ser una referencia para que los países de la región inicien proyectos de investigación de esta índole (Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana, s.f.).

Cabe destacar, que las investigaciones atinentes al tema son internacionales, por lo que a nivel nacional se puede encontrar un vacío teórico, en consecuencia, se desconoce el comportamiento de las variables en estudio en el país, es por lo que, dicha investigación generará una aproximación epidemiológica inicial e innovadora que permitirá dar paso a otros estudios en el área.

Por otra parte, existe una clara disparidad entre los recursos destinados a la atención clínica sanitaria en comparación a los dirigidos al cuidado de la salud mental y ambiental, normalmente con menor disponibilidad para los últimos (Vigo, Thornicroft, y Atun, 2016, p.171). Debido a ello según los resultados, esta investigación podría ofrecer información pertinente a las autoridades competentes (Ministerio de Salud, Caja Costarricense de Seguro Social, y Departamentos de Vigilancia Epidemiológica de las Áreas Rectoras de Salud) sobre la necesidad de continuar con investigaciones en el área para toma de acciones en busca de un sistema de salud integral y sobre todo preventivo.

Asimismo, desde el punto de vista legislativo permitirá discutir sobre los niveles de concentración actuales de la regulación de la contaminación atmosférica en Costa Rica con el objetivo de resguardar la salud pública, de modo que surjan acciones que velen por la calidad del aire y la prevención de enfermedades relacionadas a aspectos ambientales. Paralelamente, sería beneficioso para los gobiernos locales, en la toma de medidas en torno a la introducción de la variable ambiental en temas de ordenamiento territorial, diseño del espacio público, movilidad, entre otros.

En cuanto al sector salud, se da un aporte al Ministerio de Salud como ente rector del Sistema de Protección Social de Salud en Costa Rica, y en específico por el compromiso en el cumplimiento de La Estrategia Nacional para el Abordaje Integral del Comportamiento Suicida del 2016 al 2021, la cual responde a problemáticas de salud mental mediante acciones basadas en 5 ejes de intervención. El segundo eje incluye el ámbito ambiental apoyado en la generación y puesta en marcha de estrategias que promuevan ambientes saludables con la intención de incrementar los factores protectores de la salud psicológica y evitar la exposición a factores de riesgo del comportamiento suicida (Poder Ejecutivo, 2018, pp.17- 20).

Según los resultados de la investigación podría reforzarse el papel de los factores ambientales como un posible factor de riesgo en la red multicausal de los trastornos mentales estudiados. Se evidencia así la necesidad de ampliar el eje ambiental, no solamente enfocado a cambios estructurales de edificaciones o parques (como es actualmente), si no a acciones más profundas que reconozcan la regulación ambiental como medida para el control de riesgos.

Por su parte la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), institución pública que posee bajo su cargo la seguridad social y que participa desde 3 niveles en la detección de intentos de suicidio, plantea algunos desafíos en el área de Salud Mental en el que el presente trabajo podría contribuir (Poder Ejecutivo, 2018, pp. 31). El primero de

ellos es que se debe fortalecer el sistema de vigilancia y monitoreo para contar con información oportuna y de calidad de los casos incidentes, en este sentido la investigación permitirá realizar una visualización espacial de los casos de depresión, intento de suicidio y suicidio, así como identificar una de las posibles variables involucradas en la incidencia de casos, además este estudio contribuye al segundo desafío basado en promover nuevos procesos de investigación que contribuyan a alcanzar un abordaje integral del trastorno (Poder Ejecutivo, 2018, p. 32).

Aunado a lo anterior, mediante este instrumento se plantea beneficiar al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, quien es el ente encargado del análisis de muestras para la generación de datos relacionados a la calidad del aire, por lo que se espera que este estudio sea complementario a los informes generados, y dé una perspectiva de salud, evidenciando el enlace entre la calidad ambiental y la salud mental. Paralelamente, se le aportará a otras posibles entidades nacionales e internacionales interesadas en incursionar en este ámbito.

Finalmente, aportará a la Universidad de Costa Rica una investigación pionera e innovadora en el área de la salud mental desde un abordaje colectivo y público, asimismo a la Escuela de Tecnologías en Salud al contribuir con la competencia de investigación en epidemiología ambiental. En definitiva, se verá impactada positivamente la carrera de Salud Ambiental al evidenciar su integralidad y su potencial para abordar problemáticas complejas de salud pública, al tiempo que se posiciona en una línea de investigación reciente a nivel internacional.

II. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado se definen diversos términos con el fin de exponer las bases teóricas de la investigación, así como evidenciar el enfoque de Salud Ambiental y abordar las temáticas relacionadas a la contaminación por PM₁₀ y NO₂ y su relación con los trastornos en estudio.

2.1. Relación entre salud y ambiente: Salud Ambiental

Es necesario considerar el significado de “ambiente”, ya que es un pensamiento común relacionar el término únicamente con el aspecto “natural”, sin embargo, desde 1972 en la I Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, realizada en Estocolmo, se llegó a la conclusión que, el ambiente es "el conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos y de factores sociales, capaces de causar efectos directos o indirectos, a corto o largo plazo, sobre los seres vivos y las actividades humanas" (Giannuzzo, 2010, p.132).

Cabe destacar que, se debe entender el ambiente como un sistema, por tanto, los componentes que conforman el conjunto, así como las funciones que representan, son dependientes entre sí (García, 2011). Por consiguiente, existen interconexiones entre los elementos (físicos, químicos, biológicos, sociales, culturales, entre otros) que componen el ambiente, por ello es razonable asumir que, si uno de los componentes del sistema ambiental se ve alterado, el impacto se reflejará en el resto de la red de relaciones, provocando efectos indirectos a los demás elementos, generando finalmente un impacto a todos los componentes del sistema, pero en diferentes niveles (Vázquez, 2017, pp.12-13).

La gravedad de los cambios generados dependerá “del grado de alteración, del tipo de alteración, del momento de ocurrencia, de propiedades como la resiliencia y la dinámica evolutiva y... de la localización de la alteración” (Giannuzzo, 2010, p.134). Además, las causas de un posible cambio en el conjunto pueden ser prevenidas, tratadas, anticipadas o ignoradas (Giannuzzo, 2010).

Con lo anterior, se concluye que el ambiente es un sistema complejo conformado por elementos (físicos, químicos, biológicos, sociales, culturales, entre otros) y subsistemas que son dependientes entre sí, que pueden generar impactos positivos o negativos sobre los seres vivos (abarcando al ser humano) dependiendo de la

intervención antropogénica, y que las causas de dichos impactos pueden ser prevenibles o modificables para disminuir los mismos.

Por otro lado, un término que debe ser esclarecido, es el de salud, ya que funciona como base para esta investigación. Este término se ha conocido históricamente como la ausencia de la enfermedad o invalidez, no obstante, los conceptos son construcciones sociales y por lo tanto evolucionan. Esa concepción era válida cuando predominaba la medicina tradicional que se apoyaba en el hecho que la enfermedad era un fenómeno dado por la propia naturaleza humana y como consecuencia generaba “pérdida de salud” (Gavidia y Talavera, 2012, p.165).

No obstante, el descubrir diversos tipos de enfermedades con sintomatologías y factores de riesgo diferentes en la población, generó que nuevas disciplinas se involucraran en el estudio de la salud y con ello se le dio pluralidad al concepto. En consecuencia, enfocar las soluciones de problemáticas de la salud pública a una causa biológica no era suficiente para enfrentarse a la situación real, por tanto, resultó lógico abordar la salud desde un enfoque multicausal (García, 2011).

Asimismo, es importante considerar que la salud no es absoluta, porque se ve afectada por factores ambientales, sociales, de disponibilidad de servicios, de calidad de vida, entre otros condicionantes que se generan en la sociedad y que la determinan, por este motivo es más razonable estudiarla como un estado de “salud-enfermedad” por su característica de fluctuar en el tiempo según los determinantes con los que se relacione (Vargas y Palacios, 2014, pp.27-28).

Además, esta no se limita a la ausencia de una dolencia física, por el contrario, es más integral, llegando a abarcar la capacidad de realizar y gozar actividades en la cotidianidad y desempeñarse de manera oportuna en una sociedad cambiante (Uribe, 2013). En síntesis, se halla la salud como un proceso dinámico y fluctuante entre la salud y la enfermedad, que está condicionado por determinantes sociales, emocionales, ambientales, culturales, políticos, entre otros; que, además se ve afectado por el accionar individual y colectivo por lo que va ligado a los problemas de la comunidad o de la sociedad.

Por otra parte, dado que la salud se ve afectada por el medio, es indispensable estudiar e intervenir los factores de tipo ambiental que pueden generar un impacto en la misma. Precisamente, la Salud Ambiental estudia la relación humano-ambiente para entender cómo las acciones dadas en el ambiente intervienen positiva o negativamente en la calidad de vida de las poblaciones (Blanco et al., 2015, p.192).

Asimismo, Koren y Bisesi (2002) establecen que los conocimientos y esfuerzos de las personas profesionales en Salud Ambiental buscan la preservación, control y mejora del ambiente para que la población, desde una perspectiva individual y colectiva, se desarrolle en un espacio de bienestar ambiental. Su gestión se basa en la prevención o corrección de los efectos nocivos directos o indirectos del ambiente en la salud, gran parte de ellos provocados por el accionar humano (Martínez et al., 2014, p.406).

La importancia de esta profesión radica en la capacidad de ejercer procesos de investigación, tratamiento, control, educación, prevención, promoción, factibilidad y gestión de los determinantes de la salud ambiental que se encuentran en la cotidianidad de las poblaciones como: calidad de agua, desechos sólidos, contaminación atmosférica y otros; procurando con este accionar mejorar la calidad de vida humana (Ordóñez, 2000, pp.142-143).

2.2. Salud mental y sus determinantes

Así como la salud no se entiende como la ausencia de la enfermedad, la salud mental no se basa en la ausencia de un trastorno. Según la OMS (2018), la salud mental (SM) 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.

Desde este punto de vista, un individuo tiene una conducta “normal” en el marco de la salud mental cuando posee “la suficiente capacidad para relacionarse con su entorno de una manera flexible, productiva y adaptativa, y si sus percepciones de sí mismo y del entorno son constructivas y promotoras de equilibrio propio” (Mebarak et al., 2009, p.89).

Es preciso aclarar que, por la complejidad del concepto no existe una línea que divida claramente las diferencias entre una persona con salud mental sana o no, es decir, al igual que la salud es un estado dinámico que oscila en una “gamma de grados de salud mental” por lo que no es absoluta (Mebarak et al., 2009, p.90). Por otra parte, aunque existe un amplio reconocimiento de la salud mental, aún no hay una definición universal de la misma, por lo que se hayan varias concepciones según diversos enfoques de la salud (Cuadro 1).

Cuadro 1. Conceptos de Salud Mental según diversos enfoques de la salud

Biomédico	Conductual	Cognitivo	Socioeconómico
Reduce la SM a la ausencia de enfermedad mental, se ocupan del trastorno mental pero no realmente de la salud.	Se enfoca en el ambientalismo, son los estímulos los que llegan a modificar la conducta. Considera que la SM puede modificarse conforme se conozcan las leyes del comportamiento.	Lo conceptúan desde una visión educativa, consideran la posibilidad de que el sujeto corrija pensamientos disfuncionales, aprenda y se adapte.	Proponen que el acceso a derechos y el desarrollo socioeconómico es indispensable para alcanzar un estado deseado de SM.

Fuente: Elaboración propia con datos de “Evolución del constructo de Salud mental desde lo multidisciplinario” (Macaya, Vyhmeister y Parada, 2018) y de “Concepciones de salud mental en el campo de la salud pública.” (Restrepo y Jaramillo, 2012, p.205)

Al ser el presente estudio de tipo epidemiológico y al tener como variable dependiente trastornos mentales, la definición que más se adapta es la biomédica, no por ello se debe obviar las concepciones del resto de enfoques, ya que el carecer de una enfermedad mental diagnosticada medicamente deviene que la persona sea sana mentalmente.

Por su parte, la American Psychological Association (2007) establece que la salud mental es "un estado mental caracterizado por el bienestar emocional, un buen ajuste conductual, relativa ausencia de ansiedad o síntomas debilitantes, con la capacidad para establecer relaciones constructivas, hacer frente a las demandas y tensiones ordinarias de la vida " (p.8), por lo que la ausencia de salud mental da como resultado la apatía, hastío y pérdida de interés por la vida.

Por otra parte, al ser la salud mental un componente de la salud en general, conserva su característica multicausal, por consiguiente, varía según diversos factores, entre ellos se encuentran: los dados en la comunidad y las relaciones (desastres, guerras, estrés por desplazamiento, discriminación, abuso, sentimiento de aislamiento, separaciones, custodias o pérdidas), factores individuales (trastornos mentales, consumo de alcohol o sustancias nocivas, desempleo, desesperanza, dolor crónico o enfermedades, antecedentes familiares de suicidio) y los factores genéticos y biológicos (OMS, 2014).

2.3.Trastornos en estudio: depresión y suicidio

Uno de los desórdenes más comunes del talante (estado de ánimo) y del sufrimiento mental es la depresión, esta es considerada “un síndrome prevalente, incapacitante, con una significativa discapacidad producida por la disminución en el rendimiento académico o laboral y las dificultades en las relaciones interpersonales y familiares, además del sufrimiento personal en la forma de dolor emocional” (Uribe, 2014, p.73).

La principal preocupación asociada con este trastorno es su capacidad de reducir años vida, la disminución en el estado de salud que puede llegar a alcanzar una persona con depresión es comparable con enfermedades como asma, angina, artritis o diabetes (Kessler et al., 2007). Cabe destacar, que este trastorno es dos veces más común en mujeres que en hombres, de igual manera es más frecuente en personas solteras, pero es menor en personas que nunca se casaron en comparación con quienes se divorciaron o enviudaron, asimismo pertenecer a una clase económica baja puede ser un factor contribuyente (Uribe,2014).

Por su parte la depresión tiene la capacidad de coexistir con otras enfermedades que no necesariamente son trastornos mentales, es decir, con enfermedades de la salud física (OMS, 2020), a pesar de ello se logra evidenciar con mayor frecuencia una comorbilidad con la ansiedad. Esto puede surgir por diversas razones: porque son producto de factores de riesgo compartidos, porque uno de los trastornos es un factor causal del otro o por difusos límites en diagnósticos (Uribe, 2014).

Es preciso tener en cuenta, que la depresión es heterogénea, es decir, no todos los casos de depresión siguen estrictamente una sintomatología marcada, sino que estos pueden variar según un amplio espectro de trastornos depresivos caracterizados por estados de ánimo y diversos grados de irregularidades somáticas y cognitivas (Friedman y Anderson, 2014, p.1). Además, en medio existen otros estímulos que influyen, es decir, la depresión es multifactorial pero cada uno de esos factores posee algo en común, ser estresores con valor significativo para el individuo (Guadarrama, Escobar y Zhang, 2006, p.66).

La exposición prolongada a un factor estresor produce alteraciones importantes en el funcionamiento de los neurotransmisores cerebrales, generando desequilibrios químicos, que se evidencian en cambios en los niveles comunes de “la serotonina, dopamina, norepinefrina y neurotransmisores aminérgicos, que interactúan en las células

del sistema nervioso central” (Friedman y Anderson, 2014 pp.7-8) y son vinculadas con la fisiopatología de la depresión. A continuación, se exponen los neurotransmisores involucrados en los trastornos depresivos y la función o su intervención en los procesos en estudio según Guadarrama, Escobar y Zhang (2006, pp.67-69):

- **Serotonina:**
 - Contribuye con la acción en el talante, la conducta, el movimiento, la actividad sexual, el apetito, las secreciones endocrinas, la apreciación del dolor, las funciones cardiacas y el ciclo de sueño.
 - Gran influencia en patrones de conducta y función mental.
- **Noradrenalina (NA):**
 - Aumento de la actividad de las neuronas del LC (locus cerúleo) en episodios de estrés, incrementa a niveles de alta intensidad, de ese modo alerta en el organismo lo necesario para sobrevivir. La carencia de NA o su desequilibrio con la serotonina puede causar psicosis depresiva.
 - Gran incidencia en patrones de conducta y función mental.
- **Dopamina:**
 - La dopamina funciona principalmente como neurotransmisor inhibitorio, en partes específicas (vías mesocortical y mesolímbica), participa en el funcionamiento del estado de alerta.
 - Está fuertemente relacionado con la función de la motriz.

Por otro lado, debido a su potencial de afectación a la salud pública, se ha intentado identificar las causas del trastorno, lo cierto es que aún existen muchos vacíos en la etiología de la depresión. Sin embargo, se han propuesto diversas hipótesis como alteraciones estructurales cerebrales, deficiencias de monoaminas, la teoría estrés y eje hipotálamo pituitario (personas con depresión poseen mayores niveles de cortisol plasmático) y la neuroinflamación producto de citocinas (proteínas que regulan la inflamación).

Independientemente de la hipótesis, la depresión se posiciona en uno de los retos más importantes de la salud individual y colectiva, por su potencial de reducir la calidad de vida y por la posibilidad de llevar al suicidio en los casos más graves (OMS, 2020). En la actualidad aproximadamente un 40 % de los pacientes diagnosticados con depresión han efectuado un intento de suicidio tras el primer episodio y de un 47 % a un 69 % de

pacientes han presentado algún nivel de idealización suicida (Gómez, 2012) (Bronisch y Wittchen, 1994).

En cuanto al suicidio consumado, diversos estudios sugieren que más del 90 % de las víctimas presentaban un trastorno principalmente de "ánimo, por uso de alcohol/sustancias y esquizofrenia, a menudo comórbidos" (Gómez, 2012, p.607). Por lo anterior, resulta difícil definir una etiología del suicidio ya que, aunque diversas investigaciones han determinado que la conducta suicida está asociada con los trastornos mentales, no se ha definido qué trastornos de manera única funcionan como factor causal (Nock et al., 2010).

Por otra parte, el estudio "Preventing suicide: a global imperative" realizado en el 2014 a 172 Estados miembros de la OMS, establece que la tasa mundial de suicidios estandarizada por edad es de 11,4 por 100 000 habitantes (15,0 para hombres y 8,0 para mujeres). Asimismo, se observa a nivel global una mayor proporción de suicidios consumados en adultos jóvenes de entre 15 años y 29 años (8,5 % del total de muertes) y entre los adultos de 30 años a 49 años (4,1 % del total de muertes). Además, se determina que en todas las regiones del mundo existe una mayor proporción de muertes por suicidio por parte de la población masculina (OMS, 2014).

No obstante, dado a la sensibilidad del suicidio y la ilegalidad de dicho comportamiento en diversos países existe una gran problemática relacionada con la mala calidad de los datos de mortalidad, por lo que es muy probable que se dé un subregistro, incluso con mayor significancia para el suicidio en comparación con otras causas de defunción (OMS, 2019). A pesar de ello, se han logrado establecer modelos explicativos de la conducta suicida conformados por diferentes factores de riesgo que a lo largo de la vida interaccionan con factores protectores como la autoeficacia o la capacidad de afrontar las dificultades (Mingote, 2004). Según Huidobro (2014) y Mingote (2004) los factores de riesgo que contribuyen a aumentar la probabilidad del suicidio son los siguientes:

- **Factores sociodemográficos:**
 - Edad y sexo: los hombres poseen una mortalidad por suicidio de 2 a 3 veces mayor que las mujeres, por el contrario, los casos de intentos de suicidio son más comunes en mujeres.

- Estado civil: el suicidio es más frecuente en personas divorciadas, viudas y solteras, el intento de suicidio posee tasas más elevadas en mujeres solteras y divorciadas y en hombres solteros.
- Situación laboral: su asociación es más significativa cuando el tiempo de desempleo es prolongado.
- Clase sociocultural: el suicidio consumado parece ser propio de clases altas y los intentos de suicidio se presentan con mayor frecuencia en clases bajas y medias.
- **Factores climáticos:** diversos estudios han evidenciado que en primavera se presenta una mayor aparición de casos, asimismo se observa un patrón de incremento al inicio del verano que desciende conforme se alcanza el invierno, esto varía según las regiones.
- **Factores biológicos:** relacionado a diversas hipótesis como los niveles de serotonina, colesterol, noradrenalina, dopamina, entre otras.
- **Factores psicopatológicos:** trastornos depresivos, alcoholismo y consumo de drogas, esquizofrenia, trastornos de personalidad y anorexia nerviosa.

2.4. Contaminación atmosférica: material particulado y dióxido de nitrógeno

La contaminación del aire es una combinación de múltiples contaminantes gaseosos y partículas suspendidas que, dependiendo de la concentración, afecta la atmósfera, la absorción y la dispersión de la luz. Las altas concentraciones de contaminantes se deben principalmente a las actividades relacionadas con la urbanización, la modernización, el aumento de la población humana, el crecimiento de la densidad del tráfico, básicamente, a problemas relacionados con la mala planificación de los asentamientos humanos y las dinámicas sociales del funcionamiento de las ciudades, que por años no ha considerado la importancia del impacto ambiental en la salud (Xiong et al., 2019, p.2).

No obstante, la definición de contaminación atmosférica es mucho más compleja y amplia, si se analiza el concepto que se incorpora en la Ley N° 5395, Ley General de Salud (1973), de hecho, se puede observar que incluye muchos más elementos. Ésta es definida en el artículo 294 como:

...el deterioro de su pureza por la presencia de agentes de contaminación, tales como partículas sólidas, polvo, humo, vapor, gases, materias radiactivas y otros, que el Ministerio defina como tales, en concentraciones superiores a las permitidas por las normas de pureza del aire aceptadas internacionalmente y declaradas oficiales por el Ministerio. Se estima contaminación del aire, para los mismos efectos, la presencia de emanación o malos olores que afecten la calidad del ambiente, perjudicando el bienestar de las personas (1973).

Por otro lado, en el artículo 2 del Decreto N.º 36551-S-MINAET-MTSS, reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto (2011), se establece que los contaminantes atmosféricos son “cualquier sustancia, material o forma de energía emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales y que afecta adversamente al medio ambiente, a los organismos vivos o a las edificaciones y estructuras.”

Ahora bien, independientemente de cuál sea la definición, todas concluyen en que la contaminación del aire tiene un impacto en diversos receptores tales como: la salud humana, los recursos naturales, la atmósfera, incluso sobre otras formas de vida no humanas. Cabe destacar que, los efectos atribuidos a la contaminación atmosférica se reflejan en diferentes escalas, en otras palabras, se producen desde cambios a nivel local, que generan malestar a los habitantes, hasta efectos más globales que intervienen en el funcionamiento climático y ambiental de todo el planeta (Gallego et al., 2012, pp.59-61).

Además, para entender la dinámica atmosférica, es necesario conocer la clasificación de los contaminantes, en primera instancia se dividen en naturales (derivados de procesos de bacterias, digestión de herbívoros, emisiones volcánicas, entre otros dados de manera natural) y antropogénicos (generados por la actividad humana). Una segunda clasificación está relacionada con la forma en la que se emiten a la atmósfera, según esta clasificación existen los que se emiten directamente a la atmósfera y no cambian su composición (primarios) y los que surgen producto de transformaciones químicas dadas en la atmósfera (secundarios), se forman a partir de precursores, o sustancias que, en condiciones específicas, reaccionan y generan un nuevo contaminante (Gallego et al., 2012, pp.65-66).

Con respecto a la regulación de la calidad aire, ésta suele basarse en el cumplimiento de las normas, evaluando las concentraciones de los contaminantes criterios, los cuales se definen en el artículo 3 del Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio (2016) como todos los contaminantes que poseen un límite

máximo de concentración permitido por su efecto en la salud humana e incluye el “ozono, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el plomo y las partículas suspendidas totales”.

Además, es necesario precisar que existen otros tipos de categorías de contaminantes del aire, pero para términos de la presente investigación, basta con comprender los ya mencionados. Por otro lado, se le conoce como emisión a la expulsión o liberación de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas; como resultado de la combustión de fuentes fijas o móviles dado por un ente generador (persona física o jurídica responsable de las sustancias liberadas). Este término no debe confundirse con la inmisión, ya que se refiere al nivel de concentración de un contaminante que alcanza a la población expuesta en un ambiente abierto (Decreto N° 39951-S, 2012, artículo 2).

Dentro de los contaminantes criterio se encuentra el material particulado, según la OMS es uno de los contaminantes que posee mayor impacto en la salud, ya que penetra con facilidad los pulmones y provoca una reacción de la superficie y las células de defensa (OMS, s.f.). Además, la exposición aguda y crónica están asociadas con enfermedades pulmonares, cáncer, enfermedades reproductivas y neurológicas; afectando en mayor medida a poblaciones vulnerables (Riojas et al., 2014). Es por ello, que el material particulado se convierte en uno de los contaminantes más importantes de este estudio.

El material particulado está compuesto por elementos sólidos y líquidos, orgánicos e inorgánicos, que se pueden emitir de diversas fuentes (Shin, Park y Choi, 2018). Dentro de los principales componentes que conforman el contaminante citado se encuentran “los nitratos, el amoníaco, los sulfatos, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua” (OMS, 2018, apartado: partículas, párr.1). Asimismo, el tamaño, la composición y las fuentes del material particulado pueden ser muy diversas y contener tanto contaminantes primarios como secundarios, el comportamiento y los efectos del material depende de las cantidades, concentraciones y de las condiciones del clima (Koren, 2017, p 21).

La OMS establece que existen dos tipos de materiales particulados: los que poseen un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros ($\leq PM_{10}$) con la capacidad de penetrar y acumularse en los pulmones y las de un diámetro de 2.5 micrómetros o menos ($\leq PM_{2.5}$) que son mucho más dañinas ya que pueden además cruzar la barrera sanguínea pulmonar y circular a través del sistema sanguíneo (Koren, 2017, p.30). Tanto el material respirable PM_{10} como el fino $PM_{2.5}$ aumentan los problemas

respiratorios, problemas de visibilidad, el daño pulmonar, y otras enfermedades más complejas (OMS, 2018).

Por su parte, el dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas tóxico, oxidante altamente reactivo y corrosivo. Es producido principalmente por la combustión de combustibles fósiles, provenientes de calderas de tipo chimenea y aparatos de quema de leña, no obstante, aunque los vehículos de motor individualmente solo aportan pequeñas cantidades de contaminantes, como colectivo terminan asumiendo una gran proporción de la emisión de los contaminantes en el aire, entre ellos el NO₂ (Koren, 2017).

Este contaminante tiene relación con el antes expuesto, ya que comúnmente está altamente relacionado con contaminantes primarios como las partículas, mayormente partículas muy finas. Aunque por sí mismo, es un tóxico precursor de ozono que cohabita con otros contaminantes oxidantes resultantes de procesos fotoquímicos atmosféricos (OMS, 2005).

La exposición a dióxido de nitrógeno se ha asociado con un aumento en el riesgo de presentar enfermedades respiratorias y cardiovasculares como neumonía, asma, alergias, rinitis, tos crónica, sibilancias (Bowatte, et al., 2015) (Espluges, et al., 2011), incluso hay estudios que confirman que pueden surgir síntomas ante una exposición aguda como inflamación, hiperreactividad bronquial, asma, entre otras (Poynter, 2012).

2.5. Toxicología, contaminación del aire y efectos a la salud humana

Es evidente que la contaminación del aire tiene un gran impacto en la salud pública, ya que es responsable de millones de muertes prematuras a nivel mundial (OMS, 2018). Relacionado a ello, es importante considerar, que los efectos dados en la salud por la contaminación dependerán del contaminante, de la concentración del mismo, del tipo de exposición y del nivel de vulnerabilidad de la población expuesta, que en mayor o menor medida se verán afectados.

Para abordar este tema es necesario tener conocimiento de ciertos conceptos básicos de toxicología ambiental, tales como peligro y riesgo, el primero de ellos se refiere a la capacidad que posee un agente para generar efectos adversos, y el segundo expone la probabilidad de ocurrencia de un efecto producido por el agente (Peñas, Carter y Fierro, 2001, p.45)

La variación de la exposición durante el día o el tiempo de exposición a lo largo de toda la vida de un individuo es esencial para conocer el resultado (respuesta-efecto),

por medio de una dosis, la cual es la cantidad de xenobiótico o agente introducido en un sistema biológico por unidad de tiempo y se expresa en mg del contaminante/kg de masa corporal, esta corresponde a la dosis más general (Roldán, 2016, p.8).

Los efectos derivados del contacto con un tóxico dependen del tipo de exposición, es por lo que, una exposición puede ser aguda indicando una corta duración en contacto con el contaminante, pero a altas concentraciones, o crónica que se refiere a exposiciones de larga duración en concentraciones menores. Los efectos producidos por la primera exposición suelen darse poco tiempo después de ésta (horas o días) y pueden ser reversibles o irreversibles; y los segundos surgen tras una exposición prolongada que comúnmente persiste en el tiempo después de la exposición (Repetto, Repetto, 2009, pp. 22-23).

Por otro lado, el análisis de los efectos y su asociación con la dosis se evidencia en la relación dosis-efecto, que muestra la vinculación entre la dosis del agente tóxico y el efecto a nivel individual, lo esperado es que si sucede un cambio en la dosis a la que se expone el individuo, la gravedad del efecto será proporcional a la modificación. Por su parte, la relación dosis-respuesta, realiza una asociación grupal, es decir, la dosis se ve reflejada en la proporción de individuos afectados o que generan una respuesta (Jaramillo, Sánchez y Martínez, 2009, pp.26-27).

Según Roldán (2016, pp.15-21) para que el contaminante llegue al órgano blanco, ocurre el siguiente proceso, explicado a grandes rasgos:

- 1. Entrada del agente tóxico:** el agente atraviesa diversas barreras celulares y membranas después de ser inhalado, por un método pasivo como difusión, el resto de los agentes que no se incorporan por difusión, logran entrar por transporte activo.
- 2. Absorción:** este sucede cuando se atraviesa la barrera tisular y llega al torrente sanguíneo, ocurrido esto, el agente puede ser absorbido por los pulmones (depósito por excelencia de contaminantes aéreos). La absorción se obtiene también por medio de la nariz y el tracto respiratorio (si la sustancia es hidrosoluble) o por medio de los alvéolos (si la sustancia no es muy hidrosoluble). Los alvéolos son una estructura de intercambio gaseoso, la distancia entre el aire alveolar y la circulación sanguínea es de micrómetros, lo que la convierte en una excelente estructura que permite el transporte del contaminante.

3. Distribución: se refiere al paso de diversos agentes a los componentes celulares, esto depende de la velocidad de absorción y eliminación, del flujo sanguíneo del tejido afectado y su afinidad con el tóxico (Peña, Carter, Fierro, 2001, p.60). A partir de este punto, la sustancia puede tomar dos rutas:

a. **Acumulación:** retención de la sustancia tóxica en el tejido a niveles superiores de los comunes en sangre o plasma, esto sucede en mayor medida con sustancias liposolubles con afinidad a los tejidos adiposos o con otras sustancias que poseen la capacidad de acumularse en los huesos.

b. **Eliminación:** esta puede tomar dos formas, la biotransformación y luego la excreción o solo la excreción. La biotransformación es un proceso de conversión metabólica de una sustancia extraña en una que se excrete con mayor facilidad, normalmente se convierten las sustancias liposolubles en metabolitos hidrosolubles, no obstante, en ocasiones puede suceder lo que se conoce como activación metabólica, cuando el compuesto menos reactivo aumenta su reactividad después de la biotransformación. La excreción puede ser dada por varios medios: biliar, salivar, renal, intestinal; entre otros (Wallace, 2001).

Lo expuesto, evidencia que los pulmones son un excelente órgano para el intercambio de contaminantes, en este punto, se establecen tres factores de importancia para la afectación a la salud por la polución del aire: la ventilación pulmonar y gasto cardiaco, la solubilidad y la capacidad de eliminación metabólica (Holmberg et al., 1998, p.33.6).

2.6.Regulación nacional e internacional

Como referente internacional la Organización Mundial de la Salud publica el documento "WHO global air quality guidelines", el cual tiene como objetivo brindar servicios y recomendaciones cuantitativas en cuando a calidad del aire basado en la salud, la superación de los niveles de concentración establecidos en la guía supone la aparición de riesgos para la salud pública. Cabe destacar que estos límites no son legalmente vinculantes, pero permiten dar una orientación científica a instrumentos legales y políticos a nivel nacional.

Esta última guía propone objetivos intermedios asociados con la disminución del riesgo para la salud que conducen a un límite óptimo (AQG), con la finalidad de medir el

progreso en la reducción de la contaminación de modo que los límites u objetivos intermedios funcionan como metas provisionales para la reducción de la calidad del aire.

Por su parte, Costa Rica posee el Reglamento N° 39951-S publicado el 2016 en el que establece las concentraciones de sustancias en el aire máximas permitidas a nivel nacional. Según los límites establecidos en tal reglamento y asumiendo que se cumplen en el país, Costa Rica se posiciona en el objetivo intermedio 2 y 3 para PM₁₀ en la tabla de la OMS, el límite nacional de NO₂ (100 µg/m³) supera cualquiera de los objetivos establecidos internacionalmente, por lo que el país debería tomar como primera acción cumplir con el objetivo intermedio 1 para el contaminante en mención (tabla 1).

Tabla 1. Niveles de concentración de contaminantes recomendados por la OMS y la normativa nacional.

Contaminantes	Tiempo promedio	Objetivos intermedios				Límite AQG	Límite nacional
		1	2	3	4		
PM ₁₀ µg/m ³	Anual	70	50	30	20	15	30 y 40
	24 horas	150	100	75	50	45	100
NO ₂ µg/m ³	Anual	40	30	20	-	10	100
	24 horas	120	50	-	-	40	191*

*Tiempo promedio 1 h

Fuente: elaboración propia con datos de “WHO global air quality guidelines” (OMS, 2021) y Reglamento N° 39951-S (Poder Ejecutivo, 2016), 2020.

Un dato por considerar es que, se evidencia que las concentraciones máximas permitidas nacionales sobrepasan las establecidas por la OMS, por lo que sigue existiendo un riesgo latente a enfermar incluso cumpliendo los límites nacionales.

Costa Rica cuenta con una red de monitoreo de la calidad del aire del GAM que está compuesta por 54 sitios de muestreo (Ministerio de Salud, 2021), en estos sitios se captan los contaminantes de las áreas más próximas, no obstante, una herramienta típica para conocer la concentración de contaminantes en áreas no monitoreadas es la interpolación, la cual es una técnica de geoestadística que permite realizar estimaciones, predicciones o simular datos con una correlación (Cely et al., 2002).

Diversos países han utilizado esta técnica para estimar la concentración de los contaminantes en todo un territorio, por ejemplo, en Bogotá se utilizó la interpolación para el estudio del comportamiento del contaminante PM₁₀ con datos de 12 estaciones de monitoreo, las mediciones se realizaban con la periodicidad de una hora, las cuales

fueron promediadas por día y luego por años ya que los límites máximos permitidos de los contaminantes se definen para promedios diarios y anuales.

Una vez estudiada la normalidad de los datos, se realizó la interpolación mediante el método de Distancia Inversa (IDW) y se identificó que las concentraciones de contaminantes más altas se daban en el costado occidental y sur de la ciudad coincidiendo con la ubicación de fuentes fijas de polución (zona industrial, explotación minera, rellenos sanitarios, entre otros), por su parte, las zonas con menor contaminación estaban ubicadas en la cercanía de los cerros orientales, en donde hay mayor precipitación (Cely et al., 2002).

Un estudio similar fue dado en Barcelona y Santa Cruz de Tenerife de España en donde se estimó la concentración de NO₂ mediante los datos recolectados por 6 estaciones de Barcelona, 6 provenientes de municipios limítrofes, 9 estaciones de Santa Cruz de Tenerife y 3 de otros municipios, para este estudio se utilizó el modelo IDW anisotrópico para Barcelona y Kriging para Santa Cruz de Tenerife (Cañada, Moreno y González, 2014).

2.7. Relación entre los trastornos mentales y la contaminación atmosférica

Diversos estudios epidemiológicos recientes se han dado la tarea de evidenciar una posible asociación entre la contaminación atmosférica y la salud mental. Aunado a esto, se ha estudiado la neuroinflamación y la inflamación del sistema nervioso en general como un factor que adopta un rol trascendente en la fisiopatología de la depresión, relacionado en mayor medida con el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal (Braithwaite et al., 2019).

La neuroinflamación abarca desde la alteración en la morfología de las células glía, hasta la invasión o la destrucción de tejidos por leucocitos provenientes de la periferia. Los cambios o las afectaciones en la homeostasis de tejidos y daños neuronales producidos por múltiples factores inician una respuesta tisular por parte de las células residentes del SNC, comúnmente mediante las microglías y los astrocitos (productoras de factores inmunológicos como citocinas y quimiocinas). De forma paralela, se producen especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno, que contribuyen con el aumento del estrés oxidativo, que, de no controlarse por medio de mecanismos del

organismo genera un daño cerebral y la constante aparición de procesos inflamatorios (Martínez et al., 2018, p.49).

Cabe destacar, que el estímulo inflamatorio surge de manera natural, ya que limita el daño cerebral y repara el tejido, sin embargo, no todo estímulo es benéfico, cuando se sobrepasa el margen de inflamación conlleva a la generación de enfermedades neuronales, debido a que aumenta la presión cerebral (Martínez et al., 2018, p.49). Por su parte, las células gliales son esenciales para el correcto funcionamiento neuronal, estas funcionan como apoyo de las neuronas y existen tres tipos: microglías, astrocitos y oligodendritos (Martínez et al., 2018).

En la relación contaminación atmosférica-trastornos mentales, son especialmente importantes las microglías, estas pueden adquirir diferentes tipos de activación que determinarán las funciones a desempeñar (Calderón et al., 2008a) (Calderón et al., 2008b). En el cuadro 2 se señala de manera clara las divisiones y las acciones de cada una de las categorías.

Las microglías son células inmunitarias residentes del SNC, quiere decir que funcionan como la defensa del sistema, sin embargo, la microglía puede reprogramarse al desregular la respuesta y pasar a ser una fuente crónica de citocinas neurotóxicas ($\text{TNF}\alpha$, $\text{IL-1}\beta$ y $\text{INF}\gamma$), que son potencialmente tóxicas para las células que conforman el SNC (Jayaraj et al., 2017). Además, como se observará posteriormente, muchos de los estudios experimentales que estudian esta relación, utilizan la presencia de microglías como indicadores para confirmar la neuroinflamación en los organismos.

Cuadro 2. Perfiles de activación de las microglías

Perfiles	Función	Activadas por
M0	Posee receptores encargados de la vigilancia del estado de las células nerviosas, con la finalidad de detectar señales y comenzar la respuesta requerida.	Cx3CR1, CD200R, CD45, CD95, CD206, GABA, RAGE, TLR1-9
M1	Activación proinflamatoria clásica, encargada de destrucción de agentes desconocidos o patógenos.	COX2, IL1 β , IL1 α , FNT- α , Arg1, IBA-1, A β 42, CCL17, CCL18, CD209, entre otros
M2	Activación antiinflamatoria, cicatrización de heridas, reparación de células dañadas, funciona como neuro protector.	COX2, IL-13, IL-4, CCL1, IL-4Ra, IL-10, CCL18, entre otros

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de "Neuroinflamación: el ying-yang de la neuro inmunología" (Martínez et al.,2018 p.46).

En síntesis, las microglías forman parte del sistema inmunológico del SNC, estas se aseguran de que el resto de las células neuronales funcionen correctamente (M0), ante la presencia de un patógeno cambian su estado a proinflamatorio (M1) con la finalidad de eliminar el xenobiótico, una vez realizada su función, se impulsa la actividad antiinflamatoria (M2) para reparación o eliminación de desechos producto de la proinflamación. El proceso proinflamatorio es natural y necesario cuando sucede de manera aguda, empero este llega a convertirse en un neurotóxico cuando su activación es prolongada, es decir crónica.

Lo anterior ha sido confirmado por diversas investigaciones epidemiológicas experimentales por ejemplo, el estudio desarrollado por Braithwaite, Zhang, Kirkbride, Osborn y Hayes (2019) demostró que la exposición a PM₁₀ está positivamente asociada a la neuroinflamación (activación de células gliales y aumento del estrés oxidativo), cambios en la estructura cerebral y mayor producción de cortisol en ratones y humanos, todos ellos procesos fisiológicos que influyen en la depresión y otros trastornos como el comportamiento bipolar.

Asimismo, datos de análisis en laboratorios con animales (perros y ratones) y autopsias humanas, señalan que la contaminación del aire está vinculada con la neuroinflamación. Animales expuestos a altas concentraciones de contaminantes (especialmente PM₁₀, ozono y escape de motores diésel) han experimentado lo siguiente

(Calderón et al., 2002) (Block y Calderón, 2009) (Calderón et al., 2008c) (Gerlofs et al., 2010) (Levesque et al., 2011):

- Un aumento de citocinas proinflamatorias en el tejido cerebral (FNT- α , IL1 α , A β 42)
- Incremento de proteínas indicadoras de neuroinflamación (IL6, IBA-1, MIP-1 α , RAGE, entre otros).
- Interrupción de la barrera hematoencefálica.

De igual manera en autopsias realizadas a niños y adultos jóvenes residentes de la Ciudad de México (Calderón et al., 2010), así como investigaciones en el cerebro de personas víctimas de suicidio (Tonelli et al., 2007) se ha comprobado la interrupción de la barrera hematoencefálica, regulación positiva significativa de microglías, aumento del estrés oxidativo y mayor tráfico de células inflamatorias como citoquinas (IL-4 en mujeres e IL-13 en hombres).

Lo expuesto anteriormente es imperativo, ya que las respuestas inflamatorias han adquirido un puesto importante en la fisiopatología de la depresión, incluso se ha detectado que los pacientes deprimidos tienen altos niveles de citocinas proinflamatorias, caracterizadas por su intervención en diversos procesos relacionados con la fisiopatología de la depresión como en “el metabolismo de neurotransmisores, la función neuroendocrina, la plasticidad sináptica y el comportamiento” (Raison, Capuron y Miller, 2006, p.24).

Con respecto a estudios epidemiológicos no experimentales en Utah se realizó una investigación mediante un diseño de cruce de casos estratificado en el tiempo, utilizando como casos los días en los que se dieron los suicidios y como controles todos los días que cayeran el mismo día de la semana del mismo mes en el que se dio el caso (en una relación 1:3 o 1:4). Este estudio, además, utilizó modelos de regresión logística, en los cuales se obtuvo odds ratio (razón de momios) con intervalos de confianza del 95 % que fueron estratificados por grupo de edad, sexo, estación y método de la muerte (Bakian et al., 2015).

Dicho análisis evidenció un aumento en la probabilidad de cometer suicidio tras la exposición en el día que se comete el suicidio, así como un aumento en el riesgo por la exposición en 2 días a 3 días antes del suicidio a PM_{2,5} y NO₂. Conjuntamente, las asociaciones fueron más fuertes en los hombres y en las personas de 36 años a 64 años,

en general los resultados variaban según las estaciones, no obstante, se observó mayor fuerza de asociación en épocas de primavera y otoño (Bakian et al., 2015).

En este punto es relevante explicar que el riesgo relativo (RR) o odds ratio (OR) son métodos utilizados para conocer la relación entre dos variables y es comúnmente utilizado en salud pública para identificar factores de riesgo o protectores. Un RR o OR mayor a 1 evidencia un aumento del riesgo y uno menor que 1 indica una relación débil o de factor protector, cuando el intervalo de confianza incluye el valor 1 la diferencia entre las variables no es estadísticamente significativa (Dagnino, 2014).

Por su parte, una investigación realizada en Vancouver, Canadá comprobó que existían mayores admisiones en los departamentos de emergencia por intentos de suicidio (n: 1 605) cuando se daba un aumento de las concentraciones de PM₁₀ (25,8 µg/m³ en promedio) y NO₂ (19,4 ppb en promedio). Asimismo, los resultados revelaron que se presentaba una mayor fuerza de asociación en épocas frías (PM₁₀ día del suicidio OR (razón de momios): 1,11 (1,00 a 1,23), NO₂ día del suicidio OR: 1,12 (1,00 a 1,27) y NO₂ día antes del suicidio OR: 1,17 (1,04 a 1,33) y cuando la población era masculina (PM₁₀ día antes suicidio OR: 1,11 (0,97 a 1,26)), NO₂ día del suicidio OR: 1,16 (1,00 a 1,35) y NO₂ día antes del suicidio OR: 1,21 (1,03 a 1,41) (Szyszkowicz et al., 2010).

Por otro lado, en Tokio se realizó un estudio de casos estratificado por tiempo, en el que se ajustaron factores confusores como los días festivos, temperatura media diaria y la humedad relativa. De igual manera, se consideró sexo, edad, estación del año y estado civil. Este estudio dio como resultado que las personas viudas expuestas a NO₂ y las personas menores a 30 años expuestas a un aumento en el rango intercuartil de la concentración de NO₂ poseían mayor probabilidad de autolesionarse o de cometer suicidio (Ng, Stickley, Konishi y Watanabe, 2016).

A propósito de evidenciar la posible relación entre las variables, una de las investigaciones más grandes en esta temática, estudió 10 ciudades del norte de Asia con poblaciones mayores a 2 000 000 de habitantes y demostró la existencia de correlaciones positivas entre el suicidio y la exposición a corto plazo a los contaminantes NO₂ RR (riesgo relativo): 1,019 (0,999 a 1,039), SO₂ RR: 1,020 (1,006 a 1,035) y PM₁₀ 1,016 (1,004 a 1,029), solamente para PM_{2,5} no se encontró asociación positiva. Al ajustar factores de confusión como sexo, edad o método de suicidio no se observó un patrón marcado de su efecto de modificación (sobreestimación o subestimación de los datos), solamente se encontró una mayor fuerza de asociación en el grupo etario entre 10 años y

24 años en ciudades específicas (Tokio y Taipei en el día que se comete el suicidio) 1 día antes del suicidio al exponerse a los contaminantes NO₂ y PM₁₀ (Kim et al., 2018).

Adicionalmente, en Corea del Sur se realizó un estudio a personas que vivían en el mismo domicilio por más de 5 años (124 205 personas), este logró confirmar las asociaciones entre la exposición a largo plazo a los contaminantes PM₁₀ OR: 1,335 (1,267 a 1,408) y NO₂ OR 1,501 (1,377 a 1,635) con el estrés subjetivo, la depresión y la idealización suicida. Al igual que los demás estudios, los hombres tuvieron mayor probabilidad de sufrir estrés subjetivo al exponerse a PM₁₀ y a presentar depresión ante el aumento de las concentraciones de NO₂ (Shin, Park y Choi, 2018).

En resumen, aunque aún no existe una ruta fisiológica establecida y consolidada, la mayor parte de la evidencia concuerda en la hipótesis de la neuroinflamación, que se basa en que una deficiente calidad del aire puede conducir al incremento de los niveles de microglías. 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.

■ Ruta fisiológica del contaminante

Por su característica de centinela, la microglía responde a diversos estímulos, incluso a tóxicos ambientales, señales proinflamatorias y procesos adversos, con el fin de regular el ambiente proinflamatorio del cerebro. Los mecanismos por los cuales la contaminación de aire impacta el sistema en estudio, se puede separar en dos categorías: vía directa y vía indirecta (Jayaraj et al.,2017).

2.7.1.1. Vía directa

Varios componentes del aire contaminado de tamaño nanométrico son capaces de activar la microglía y generar la neuroinflamación. Estos contaminantes ingresan a través del nervio olfatorio y llegan al cerebro por medio de los tubérculos olfatorios, por el tamaño de ciertos contaminantes como el de las partículas finas, logran atravesar la barrera sangre-aire (en los alvéolos) de los pulmones, entrando a circulación periférica, de allí una pequeña parte del contaminante inhalado posee la capacidad de llegar al cerebro

(Block y Calderón, 2009) (Mühlfeld et al., 2008) (Heusinkveld, et al., 2016) (Jayaraj et al., 2017).

La microglía detecta los contaminantes por sus receptores de reconocimiento de patrones específicos (MAC1-NOX2) que generan un cambio en la morfología y la respuesta ROS, pero además activan la microglía cambiando el fenotipo a un estado pro inflamatorio mejorado (estado M1 expuesto en el cuadro 2). Asimismo, la microglía internaliza el contaminante y lo endocita a través de receptores captadores para intentar eliminarlo, por lo que es “probable que exista un complejo receptor de múltiples receptores de reconocimiento de patrones”, esto resulta especialmente importante, porque prepara a la microglía a ser hipersensible a estímulos tóxicos (Jayaraj et al., 2017).

En otras palabras, las células sensibles quedan sobre activadas a largo plazo, en consecuencia, se liberan citotóxicos hacia las neuronas, provocando neuroinflamación y una degeneración neuronal (Morales, Farías y Maccioni, 2010). El hipocampo es una de las partes más susceptibles al daño inflamatorio porque posee una gran cantidad de receptores para citocinas proinflamatorias, alterando su funcionamiento y generando una reacción en cadena en el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal relacionado con la depresión (Clark et al., 2010 citado por Gladka et al., 2018, pp.712-713).

2.7.1.2. Vía indirecta

La segunda vía o vía indirecta establece que no es indispensable que el contaminante llegue al cerebro para afectar el SNC, esta ruta resulta significativa para contaminantes gaseosos reactivos, ya que es poco probable que lleguen al parénquima del SNC para interactuar con las células, incluso se evidencia que la respuesta microglial a una lesión periférica incrementa la patología en curso (Jayaraj et al., 2017).

La contaminación del aire causa señales proinflamatorias en diversos órganos y tejidos periféricos del SNC como los pulmones (Tamagawa et al., 2006) (Jayaraj et al., 2017), el sistema cardiovascular (Swiston et al., 2008), y el hígado que a menudo producen una respuesta de citocinas circulantes (Rückerl et al., 2007) (Nwokoro et al., 2012) (Jayaraj et al., 2017) con la probabilidad de activar la actividad de las microglías y transferir la inflamación al cerebro (Block y Calderón, 2009) (Tamagawa et al., 2006) (Calderón et al., 2008).

III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1. Descripción general de la estrategia

Por la naturaleza de la investigación, se utilizó como enfoque el cuantitativo, este tipo de enfoque es secuencial e intenta evidenciar o probar un fenómeno y el comportamiento de sus variables. Cabe destacar que el presente estudio utilizó registros de bases de datos existentes, proporcionadas por instituciones gubernamentales como el Ministerio de Salud de Costa Rica, el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, el Observatorio Vulcanológico de Costa Rica (OVSICORI), el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica y algunas municipalidades que emitieron datos de las variables de interés dentro del periodo del 2016 al 2019.

Por otro lado, las características de esta investigación que la convierten en un enfoque cuantitativo son las siguientes: se describió y se visualizó objetivamente el fenómeno estudiado mediante la recolección de documentación de fuentes externas, analizando datos confiables de naturaleza numérica con la finalidad de conocer el comportamiento de las variables. Esta investigación se enfocó en su totalidad en la recolección, sistematización y cotejo de datos, no en el trabajo de campo. Además, se realizaron análisis estadísticos descriptivos e inferenciales, en consecuencia, los resultados fueron presentados como tablas, gráficos y mapas.

Para el cumplimiento de los objetivos se procedió a desarrollar la metodología a partir de las siguientes 5 fases:

1. Recopilación de datos de fuentes secundarias (datos definidos en apartado 3.3).
2. Análisis descriptivo de las variables con la finalidad de conocer su comportamiento.
3. Cálculo de indicadores de salud (tasas de incidencia, tasas de mortalidad estandarizadas por edad) para las enfermedades en estudio.
4. Análisis espacio temporal de las variables para detectar posibles patrones de asociación en espacio y tiempo.
5. Análisis estadístico correlacional (modelo de asociación)

3.2. Descripción metódica

En el presente apartado se especifica el tipo de estudio, la población de interés, el objeto de estudio, la unidad de análisis, así como lo relacionado con la confiabilidad y validez de la investigación.

■ Tipo de estudio

3.2.1.1. *Diseño no experimental*

La investigación en general es de carácter no experimental, ya que no se manipularán las variables de manera intencional o al azar, por lo contrario, la persona investigadora se mantendrá al margen, solamente observando fenómenos en un contexto natural, siendo ajena al proceso de control de las variables, sin ejercer ningún tipo de intervención.

3.2.1.2. *Diseño ecológico*

Correspondiente al primer y al segundo objetivo se desarrolló un diseño ecológico debido a que, se realizó un análisis descriptivo y posteriormente espacial, es decir, se identificó mediante los datos recolectados las áreas en las que existe mayor contaminación, con la finalidad de zonificar los territorios según los niveles de concentración de los contaminantes, para ello se realizó una interpolación de los datos de modo que a partir de diferentes puntos de monitoreo (estaciones) se estimaron las concentraciones de contaminantes (la escala para la zonificación utiliza como base los límites intermedios y finales establecidos por la OMS en su guía de calidad del aire mundial).

De igual manera, se localizaron en espacio y tiempo el número de casos (tasas de incidencia y tasas de mortalidad) de los trastornos en estudio para conocer su distribución. Por último, se incluyeron en el análisis espacial algunas variables climáticas y ambientales (temperatura superficial, precipitación, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) así como otras que forman parte de la dinámica de los ambientes antropogénicos (temperatura superficial de la estructura gris, red vial y edificaciones) como posible factor involucrado en el comportamiento las concentraciones de

contaminantes, con el objetivo de realizar un análisis descriptivo de lo observado en la superposición de las variables en estudio.

Asimismo, la investigación se enfoca en el estudio de las variables en grupos poblacionales y no en individuos por separado, característica que distingue a los diseños de tipo exploratorio o ecológico (Morja, 2000). Además, el tipo de estudio ecológico que más se apega a la investigación es el exploratorio, debido a que se compararon indicadores de enfermedades entre diversas regiones a través del tiempo, donde el propósito es identificar patrones espaciales o temporales para generar una hipótesis.

Por lo anterior, el diseño ecológico exploratorio resulta ser el más apropiado para la investigación ya que permite plantear un panorama general de una problemática poco estudiada como lo son la depresión, los intentos de suicidio y los suicidios, y su posible nexo con la contaminación del aire, dado que no existen estudios previos similares en Costa Rica, no obstante, el país cuenta con datos de fuentes secundarias que permiten plantear una visión geográfico-temporal.

3.2.1.3. *Diseño correlacional*

Este diseño está ligado al tercer objetivo del estudio, ya que permite visualizar si existe una correlación positiva o negativa entre las variables, con la finalidad de establecer las bases para predecir el comportamiento de un grupo poblacional ante distintos parámetros.

Las variables independientes por estudiar son la concentración de PM₁₀ y NO₂ en el aire, y las dependientes las tasas de incidencia de intentos de suicidio y de depresión y la mortalidad por suicidios. Para ello, se utilizaron diversas técnicas de análisis de correlación como la espacial mediante Sistemas de Información Geográfica. Del mismo modo, se planteó un análisis estadístico correlacional a nivel ecológico, sin embargo, las pruebas y los análisis estadísticos se determinaron según la normalidad de los datos.

Es preciso señalar que además el estudio es observacional (no se influye en los datos) y de tipo longitudinal de tendencia, debido a que se analizaron cambios en las variables a través del tiempo, tomando en cuenta la población que habita en los distritos en estudio. Igualmente es de corte retrospectivo ya que se utilizan datos obtenidos en el pasado.

■ Población de interés, objeto de estudio y unidades de análisis

Se tomó como población de interés los y las habitantes de los distritos del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, específicamente los casos de personas que han cometido intento de suicidio, personas con depresión y las muertes por causa de suicidio notificados por el Ministerio de Salud.

Para la selección de los distritos de la GAM se tomó como referencia la delimitación espacial establecida en el PlanGam 2013 y en el listado del Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana del 2011 al 2030 generado por el INVU, por lo que en total se consideraron 154 distritos de 168 distritos que abarca la GAM parcial y totalmente. Cabe destacar, que el anillo de contención o límite (Plan 82) de la GAM no obedece los límites político-administrativos por lo que se descartaron del estudio aquellos distritos que se incluyen parcialmente en la GAM.

El objeto de estudio de la investigación es la exploración de una correlación espacio temporal y estadística entre: contaminación del aire por PM₁₀ y NO₂ con los casos de depresión, intento de suicidio y suicidios consumados. Por otra parte, no se limitó la población de los distritos por sexo, edad u otra condición en la recolección y estudio de los datos, por esta razón la unidad de análisis es la población en general de los distritos de la GAM.

■ Validez

La **validez interna** se promueve al eliminar o reducir al máximo los errores o los sesgos en la investigación, acercando los resultados a la realidad (Villasís et al., 2018). En este sentido, se elimina la posibilidad de presentar errores de selección de la muestra, debido a la naturaleza del diseño de estudio, al ser un estudio ecológico se analizan datos de la población de los distritos de la GAM y no de una muestra en específico

Otro punto a favor se basa en la facilidad de recolección de los datos y la reducción de costos, ya que la información utilizada fueron mediciones ambientales y registros de salud generados por las instituciones correspondientes a nivel nacional. Esto a su vez contribuye con la reducción del sesgo de medición ya que las mediciones de los contaminantes se obtienen a partir de redes de monitoreo estatales con instrumentos que cumplen con especificaciones técnicas de calidad (Ministerio de Salud, 2021).

No obstante, es necesario considerar que el desarrollo de estudios ecológicos tiene asociados algunas limitaciones que deben ser asumidas por la persona investigadora, así como por las y los lectores al analizar las conclusiones del estudio, entre ellas las que se mencionan a continuación.

El sesgo mayormente reconocido y asociado a los estudios ecológicos es la falacia ecológica que se basa en el supuesto de que los resultados obtenidos en la investigación serían cercanos a realidades individuales. Para evitarla se analizaron e interpretaron los resultados y las conclusiones, no como el riesgo correlacionado a nivel individual, si no de manera colectiva (por distritos y posteriores zonificaciones).

Parte del sesgo ecológico se debe a la confusión, el control de variables que no son el interés principal del estudio pero que pueden estar relacionadas y que son capaces de subestimar o sobreestimar el efecto en la asociación estudiada (Manterola y Otzen, 2015). En el presente documento se estudiaron y presentaron los resultados de la información, considerando estratificaciones por edad y sexo.

A pesar de ello, no se incluyen covariables, que no son comúnmente registradas a nivel ecológico, pero que pueden ser relevantes a nivel individual (capaces de generar confusión en la asociación) como por ejemplo el tabaquismo, acceso a áreas verdes, estrato socioeconómico, presencia de comorbilidades mentales, entre otros. Por lo anterior, el análisis de los resultados debe ser tomado con cautela, considerando que la asociación puede ser modificada (aumentar o descender) si se incluyeran covariables en estudios futuros.

Asimismo, un error frecuente que afecta a los estudios ecológicos es el error de la no coincidencia espacial de las unidades, en este caso zonas de niveles de concentración de contaminantes del aire y unidades administrativas del territorio. Esto implica que se deba hacer un ajuste espacial, pero será inevitable el sesgo. De igual manera, el error de unidades de área modificable implica que la precisión en los indicadores de correlación pueda afectarse debido al número de unidades consideradas, variando este dato de confiabilidad dependiendo si se utiliza un nivel u otro de agregación espacial (por ejemplo, cantón o distrito), este riesgo se pretende disminuir al calcular las tasas de incidencia y de mortalidad por zonas de exposición.

Un último sesgo se relaciona a la falta de control en la calidad de la información, ya que esta es tomada de fuentes secundarias en las que se pudieron perder o subestimar datos especialmente en los registros de salud (omisión de casos o mala clasificación de diagnósticos).

La **validez externa** es la capacidad de generalizar los resultados o las conclusiones del investigador hacia otros grupos poblacionales (Hernández et al., 2000), es importante destacar que los resultados obtenidos solamente se podrán extrapolar a casos de poblaciones con características demográficas similares y a sitios que cuenten con concentraciones de contaminantes, y procedimientos de identificación y registro de trastornos iguales o cercanas metodológicamente a las utilizadas. Al tratarse de un estudio ecológico que abarca toda la GAM las conclusiones y recomendaciones que se derivan aplican a toda esta área geográfica.

Por su parte, los trastornos en estudio son poco estudiados, incluso a nivel global se identifica un enorme problema de subestimación de casos en el área de salud mental, razón por la cual se dificulta la identificación del total real de casos. Esto afecta la precisión, no obstante, para la generación de los resultados se utilizará un Intervalo de Confianza del 95 %, y se considerarán como resultados con alta confiabilidad aquellos en donde la diferencia entre el límite inferior y superior sea menor al indicador de riesgo seleccionado (según la naturaleza de los datos).

3.3. Definición y operacionalización de las variables

El siguiente cuadro contempla las variables necesarias para el desarrollo de la investigación con su respectivo indicador, por objetivo, así como las fuentes para la recolección de los datos.

Cuadro 3. Definición y operacionalización de las variables

Objetivo	Variables	Indicadores	Unidad de observación	Fuentes
1. Identificar las zonas con mayor contaminación atmosférica de la GAM y las áreas con mayores tasas de depresión, intentos de suicidio y suicidio.	1.1 Niveles de contaminación del aire por NO ₂ y PM ₁₀ .	1.1 Concentración de PM ₁₀ (µg/m ³) y NO ₂ (µg/m ³)	1.1 Estaciones de monitoreo	1.1 Datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, Municipalidad de San José, Municipalidad de Belén, Municipalidad de Escazú y OVSICORI.
	1.2 Riesgo de intento de suicidio, depresión y suicidio.	1.2.1 Tasa de incidencia de intento suicidio por distrito	1.2 Población de distritos	1.2.1 Datos del Ministerio de Salud (Dirección de vigilancia epidemiológica).
		1.2.2 Tasa de incidencia de depresión por distrito		1.2.2 Datos del Ministerio de Salud (Dirección de vigilancia epidemiológica).
		1.2.3 Tasa de mortalidad por suicidio por distrito		1.2.3 Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC).
	1.3 Características demográficas de la población en estudio.	1.3.1 Sexo (F o M)	1.3 Distritos	1.3 Instituto Nacional de Estadística y Censo, bases de datos del Ministerio de Salud.
		1.3.2 Edad (años)		

2. Describir el comportamiento espacio temporal del riesgo de presentar los trastornos en estudio (depresión, intento de suicidio y suicidio) asociado con la contaminación atmosférica de la GAM.	2.1 Distribución espacio temporal de los niveles de contaminación.	2.1.1 Distribución o ubicación de las concentraciones de contaminación atmosférica (km ²).	2.1 Distritos	2.1 Datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, Municipalidad de San José, Municipalidad de Belén, Municipalidad de Escazú, OVSICORI y Sistema Nacional De Información Territorial.
		2.1.2 Comportamiento temporal de la concentración de PM ₁₀ y NO ₂ .		
	2.2 Distribución espacio temporal del riesgo de enfermar.	2.2.1 Ubicación (distrito) de los casos de suicidio, intento de suicidio y depresión.	2.2 Población de distritos	2.2 Bases de datos del Ministerio de Salud (Dirección de vigilancia epidemiológica e Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC))
		2.2. Tasa de incidencia de intentos de suicidio.		
		2.2.3 Tasa de incidencia de depresión por distrito.		
		2.2.4 Tasa de mortalidad por suicidio.		
2.2.5 Comportamiento temporal de los casos (número de casos por escala de tiempo).				
2.3 Distribución de áreas verdes en el país.	2.3 Ubicación de la cobertura forestal a nivel del país (Km ²).	2.3 Distritos	2.3 Sistema Nacional De Información Territorial y Landsat 8.	
2.4 Distribución de infraestructura y vías en el país.	2.4 Ubicación de la infraestructura y red vial a nivel del país (Km ²).	2.4 Distritos	2.4 Sistema Nacional De Información Territorial.	
2.5 Distribución de variables climáticas.	2.5 Comportamiento de la temperatura superficial terrestre y de infraestructura (°C) y de la precipitación (mm).	2.5 Distritos	2.5 Landsat 8 y Atlas Climatológico del IMN.	

3. Determinar la relación a nivel ecológico existente entre las zonas con mayor contaminación atmosférica de la GAM y las áreas con mayores tasas de suicidio, intento de suicidio y depresión.	3.1 Niveles de contaminación del aire por NO ₂ y PM ₁₀ .	3.1 Niveles de concentración de PM ₁₀ y NO ₂	3.1 Distritos	3.1 Datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, Municipalidad de San José, Municipalidad de Belén, Municipalidad de Escazú y OVSI-CORI.	
	3.2 Riesgo de intento de suicidio, depresión y suicidio.	3.2 Tasa de incidencia de intento de suicidio y de depresión y tasa de mortalidad por suicidio por distrito.	3.2 Población de distritos	3.2 Bases del Ministerio de Salud (Dirección de vigilancia epidemiológica).	
	3.3 Características demográficas de la población en estudio.	3.3.1 Sexo (Hombre-Mujer)	3.3.2 Edad (años)	3.3 Población de distritos	3.3 Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) y bases de datos del Ministerio de Salud.
	3.4 Distribución espaciotemporal de los niveles de contaminación	3.4.1 Ubicación espacial de la contaminación atmosférica.	3.4.2 Comportamiento temporal de las concentraciones PM ₁₀ y NO ₂ .	3.4 Distritos	3.4.1 Datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, Municipalidad de San José, Municipalidad de Belén, Municipalidad de Escazú y OVSI-CORI.
	3.5 Distribución espaciotemporal del riesgo de enfermar	3.5.1 Tasa de incidencia para intentos de suicidio.	3.5.2 Tasa de incidencia de depresión por distrito.	3.5.1 Población de distritos	3.5.1 y 3.5.2 Bases del Ministerio de Salud (Dirección de vigilancia epidemiológica).
		3.5.2 Tasa de incidencia de depresión por distrito.			
		3.5.3 Tasa de mortalidad por suicidio.			3.5.3 Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC)
		3.5.4 Comportamiento temporal de los casos de suicidio, intento de suicidio y depresión (número de casos por escala de tiempo).			3.5.4 Bases del Ministerio de Salud (Dirección de vigilancia epidemiológica) e Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC).

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4. Definición de los procedimientos de recolección de información

Los datos utilizados en esta investigación se tomaron de fuentes secundarias, lo que significa que la persona investigadora no realizó mediciones para la recolección de datos, ni cuestionarios para la obtención de información de las poblaciones en estudio. A continuación, se exponen los datos necesarios para el análisis por objetivo de investigación y la fuente de la que se extraerán.

Objetivo 1

Para este objetivo correspondiente a las fases 1 y 2 (recopilación de datos y análisis descriptivo de las variables) expuestas en apartado 3.1, fue necesaria la información de las siguientes variables:

- **Datos de contaminación**

Se tomaron datos sobre dos contaminantes (NO_2 y PM_{10}) de 10 estaciones de PM_{10} y 49 sitios de muestreo mediante difusión pasiva para NO_2 , que se encuentran esparcidas en 27 distritos de la GAM y forman parte de la red de monitoreo de la calidad del aire nacional existente (anexo 2). Cabe destacar existen algunos vacíos de datos debido a daños, desconfiguraciones, calibraciones o complicaciones de índole administrativo.

Los datos se solicitaron para el periodo en estudio y fueron recopilados por diversas entidades del Estado tales como la Municipalidad de Escazú, Municipalidad de San José, Municipalidad de Belén, OVSICORI, Ministerio de Salud y el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional.

- **Eventos epidemiológicos**

Se extrajeron los datos de depresión e intentos de suicidios para todos los distritos y años de estudio de la base de datos proporcionada por la Secretaría Técnica de Salud Mental del Ministerio de Salud, los datos de suicidio se recuperaron de las estadísticas básicas de defunciones de 2000 al 2020 con base en la Clasificación Internacional de

Enfermedades 10.^a edición (X600-X849). Estos datos también se obtuvieron por sexo, edad (grupos etarios quinquenales), semana epidemiológica y meses en el caso de suicidio.

■ **Objetivo 2**

Para el segundo objetivo (fase 3 y 4 expuestas en apartado 3.1) se utilizaron los datos recolectados en el primer objetivo, no obstante, en este caso el análisis fue espacial y temporal. La naturaleza de los datos permite calcular con ellos la tasa de incidencia y la tasa de mortalidad por distrito. Ahora bien, para mapear los datos de los distritos por nivel de contaminación y riesgos se utilizó la siguiente fuente:

- **Sistema Nacional de Información Territorial** con la finalidad de conocer los límites de las áreas en estudio, las áreas con cobertura forestal, infraestructura y red vial para ello se utilizó el servicio Open Geospatial Consortium (OGC) llamado “IGN Cartografía 1:5mil”, específicamente “límite Distrital 1:5mil”, “Árboles 1:5mil”, “Edificaciones 1:5mil” y “Vías 1:5mil”.
- **Science for a changing world (USGS)** que permite conocer imágenes espaciales del satélite Landsat 8, el cual mide porciones visibles, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (VNIR, NIR y SWIR) del espectro, con resoluciones de 15 metros y multiespectrales. Fueron utilizadas para el cálculo de la temperatura de la superficie de la tierra y el índice de vegetación.
- **Atlas verde** de la presente base de datos se utilizó la temperatura superficial de las edificaciones de la GAM.
- **Atlas Climatológico del Instituto Meteorológico Nacional** para conocer variables como niveles de precipitación.

■ **Objetivo 3**

Este corresponde a la fase 5 en la cual se realizó un análisis de la información recolectada en los objetivos anteriores, por lo que no se requirió la recopilación de datos adicionales.

3.5. Definición de los procedimientos y técnicas de análisis

Esta investigación utilizó procedimientos cuantitativos con la finalidad de evidenciar la posible relación entre las variables en estudio (niveles de contaminación del aire y los trastornos en observación). Para cumplir con lo establecido en el primer objetivo, se realizó un análisis descriptivo de la información brindada por el Ministerio de Salud, se calculó la tasa de incidencia (TI) de intento de suicidio y de depresión (1), así como la tasa de mortalidad (TM) por suicidio (2) para cada distrito de manera que se realizó un acercamiento inicial a las variables (Moreno et al., 2000). Se consideró como denominador la población del año medio del periodo analizado siguiendo la recomendación dada por la OPS y otros artículos para los casos en los no se cuentan con los años-persona (OPS, 2011) (Fajardo, 2017).

$$TI = \frac{\text{Número de casos nuevos}}{\text{Tiempo-persona de observación}} \times 1000 \quad (1)$$

$$TM = \frac{\text{Número de defunciones por suicidio}}{\text{Población Total}} \times 1000 \quad (2)$$

Con la finalidad de comparar directamente las tasas de los distritos se calcularon las tasas ajustadas por edad por método directo utilizando el programa estadístico STATA® versión 14.0, las tasas ajustadas fueron calculadas solamente para los outcomes de intento de suicidio y depresión utilizando tres grupos etarios: ≤29 años, entre 30 años y 59 años y ≥60 años. Se excluye de esta estimación la variable suicidio debido a que poseía un menor número total de eventos, por lo que al generarse subgrupos el número de categorías con cero casos se incrementaban, incumpliendo el criterio de 10 o más eventos observados por grupo etario por área de estudio. Este criterio se toma con el propósito de que los intervalos de confianza Dobson sean veraces (95 % de confianza) (Morris et al., 2018).

Simultáneamente, se realizó un análisis del comportamiento y de las tendencias de la variables independientes (concentración de lo dióxido de nitrógeno y material particulado fino) por estación para los años de estudio. Se inició con la aplicación de la

prueba Shapiro-francia para explorar la normalidad de los datos, esta realiza una comparación o correlación entre el cuadrado de los valores muestrales y la distribución normal de los cuantiles esperados. La prueba fue estimada en el programa STATA®, versión 14,0; que utiliza las fórmulas generadas por Shapiro y Francia y el valor de p de Royston (StataCorp, 2021):

$$W': \frac{(\sum_{i=1}^n b_i X_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2} \quad (3)$$

$$b = M_0 / ||M_0||$$

La H_0 empleada es la presencia de normalidad en la distribución de la variable y la H_1 , lo contrario. Si el valor p es mayor 0,05 (Alpha) no se rechaza la hipótesis nula por lo que los valores siguen una distribución normal. Dado que el resultado de la prueba fue que la concentración de contaminantes presenta una distribución no normal (comportamiento asimétrica y valores picos), se calculó una mediana para llegar a un valor mensual por año (se realizó por medio de Excel y STATA®, versión 14,0), estos fueron los utilizados para la representación espacial y gráfica de los datos ya sea como mediana o como promedio. El promedio fue utilizado cuando se necesitaba comparar valores con los límites nacionales o internacionales.

Para el segundo objetivo se analizaron las variables descritas en el primer objetivo mediante un análisis espacial, es decir, se generaron mapas de los indicadores de salud calculados por distrito y otros mapeos de isolíneas 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 herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, específicamente 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:

1. Análisis exploratorio de los datos.
2. Selección de muestreo aleatorio, realizado con la función “Subset Features” de ArcMap.
3. Realización y ajuste del modelo.
4. Validación del modelo, selección de los modelos con menores valores de error (anexo 3).

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 posibilita la determinación de zonas de exposición.

Además, se generaron interpolaciones considerando las temporadas (seca y lluviosa) de la Región Central (la cual abarca la GAM). En Costa Rica el clima depende de los factores del relieve, los vientos, la temperatura, entre otros componentes que varían según las regiones del país, estos factores suelen permanecer en condiciones similares en algunos periodos del año, lo que se conoce como temporadas (Instituto Meteorológico Nacional, 2008).

Se clasificaron los datos según los periodos 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).

Para cada representación espacial de la distribución de los trastornos y las concentraciones de contaminantes se estimó el índice de Moran con un nivel de confianza del 95 %, por medio de ArcMap versión 10.4.1, para determinar si existen 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. Para eso se utilizó como hipótesis nula que los datos se distribuyen aleatoriamente en el territorio en estudio, por tanto, esto permitió conocer si existía o no autocorrelación espacial en cada una de las variables.

Además, se estudiaron espacialmente otras variables tales como: la temperatura superficial, el índice de vegetación, la temperatura superficial de la infraestructura, precipitación, concentración de edificaciones y vías. Cabe destacar que, la elección del modelo (kriging o IDW) para la zonificación según exposición fue seleccionada a partir de los resultados de la prueba de índice de Moran. De este modo, si 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 determinista (IDW), esto porque el método de kriging (geoestadístico) asume que existe correlación y continuidad espacial, el IDW no, solo toma los valores medidos circundantes (ESRI, 2016a).

En este caso en concreto se analizaron de manera descriptiva ambos modelos, pero para la zonificación de exposición de NO₂ se utilizó el mapa resultante de kriging y para PM₁₀ el obtenido por medio del método IDW, esto por los resultados obtenidos en la prueba I de Moran (anexo 4).

Como base para establecer los criterios para clasificar los distritos según su exposición se utilizaron los límites intermedios e ideales establecidos por la OMS, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 2. Parámetros utilizados para clasificación de distritos según nivel de exposición

Nivel de exposición	Parámetro (µg/m ³)	
	PM ₁₀	NO ₂
Muy alto	> 70	> 40
Alto	51 a 70	31 a 40
Medio	31 a 50	21 a 30
Bajo	16 a 30	11 a 20
Muy bajo	≤ 15	≤ 10

Fuente: elaboración propia, 2022

Una vez clasificados los distritos, se volvieron a calcular indicadores de riesgo (tasas de mortalidad y tasas de incidencia) pero en este caso no por distritos, sino siguiendo la zonificación del riesgo realizada, del mismo modo se estandarizaron las tasas de incidencia y mortalidad por método directo para conocer y controlar la confusión (que podría generar la variable edad) en la tendencia de las variables. Asimismo, para el cálculo de los intervalos de confianza se utilizaron los límites de Dobson a un nivel del 95% de confianza, estos cálculos fueron realizados en el programa STATA®, versión 14.0.

Este último indicador muestra la relación cuantitativa entre eventos de dos poblaciones que se comparan, reflejando la magnitud con la que aparece un caso de la enfermedad o trastorno en el lugar (Chamizo, 2019). La razón de tasas estandarizadas (SRR) fue calculada para cada uno de los niveles de exposición, para ello el programa STATA toma el valor del primer nivel (muy bajo) como referencia y lo compara con el

resto de los niveles, reflejando si existe o no un exceso de probabilidad de ocurrencia del evento en el periodo estudiado según el nivel de exposición, los intervalos de confianza para SRR son calculados a un 95% de confianza.

Seguido, se calculó el valor de p a un intervalo de confianza del 95 %, que permite determinar si hay diferencia entre las tasas crudas según los niveles de exposición, mediante la prueba de Chi-cuadrado para la comparación de proporciones del programa SciStat, la cual utiliza las siguientes fórmulas:

$$X_c^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O - E)^2}{E} \quad (5)$$

$$X_t^2 = (k - 1) \text{grados de libertad}$$

Donde O es la proporción observada de un resultado, E es la proporción esperada de un resultado, k el número de categorías y n el número total de ensayos o pruebas (Campbell, 2007). Siendo así se establece como H_0 que no existe diferencia entre las proporciones de las poblaciones ($P_1=P_2$) y la H_1 lo contrario, que existe una diferencia entre las proporciones de las poblaciones comparadas que podría deberse a los niveles de exposición.

Si el resultado de dicha prueba es inferior a 0,05 se concluye que existe una diferencia significativa entre el comportamiento de los eventos en las dos poblaciones comparadas. El indicador anterior, se calculó para todos los niveles de exposición y en todas las relaciones posibles, es decir, se comparó el nivel muy bajo con el alto y el bajo con el medio y así con el resto de los niveles.

Asimismo, se analizaron temporalmente (época seca y lluviosa) las variables para encontrar asociaciones estadísticas entre niveles de concentración de contaminantes y la acumulación de casos de enfermedades. El análisis temporal se efectuó por meses, años y temporadas (seca y lluviosa), de manera que se observó el comportamiento de las tasas en el tiempo. Nuevamente, se aplicó la prueba de Chi-cuadrado para la comparación de proporciones (tasas), con la finalidad de conocer el valor de p y precisar si hay diferencia estadística en el comportamiento de las tasas crudas considerando el nivel de exposición, según la temporada.

Correspondiente al tercer objetivo, enfocado en un análisis estadístico inferencial de los datos, se inició con la aplicación de las pruebas necesarias a las variables,

considerando la normalidad y la naturaleza de las mismas, una vez estas fueron descritas y recodificadas para seleccionar la prueba de hipótesis según los supuestos.

Las pruebas de normalidad (prueba de Shapiro-Francia), así como el cálculo de los coeficientes de correlación entre las variables y el ajuste de los modelos se realizaron a través del programa STATA®, versión 14,0. El primer modelo que se generó fue el de regresión lineal simple para las relaciones que demostraron una correlación lineal en la prueba de correlación de Spearman (seleccionada por la no normalidad de las variables), no obstante en este caso no se logró ajustar el modelo significativamente y no se cumplieron en su totalidad los supuestos (linealidad, homocedasticidad y normalidad de los errores) que garantizarían una correcta aplicación, por lo que se descartó su uso como opción para la investigación.

Se continuó con el cálculo del modelo de Poisson para estimar las tasas relativas o razones de tasas, como variable dependiente se utilizó el número de veces que cada trastorno ocurrió por distrito, en el periodo estudiado. No obstante, a pesar de que algunas de las relaciones posibles generaron modelos significativos estadísticamente, se evidenció que la varianza era desigual al promedio (sobre dispersión) por lo que no era adecuado.

Como medida para alcanzar un modelo más ajustado se utilizó la regresión binomial negativa robusta, este modelo asume que la variable dependiente (de conteo) se genera mediante un método similar al de un Poisson, exceptuando que la varianza sea mucho mayor a la de un verdadero modelo de Poisson (StataCorp, sf). La regresión se modeló a nivel distrital para los eventos de cada trastorno ocurridos en el periodo de estudio y se controló la variable de población de cada distrito.

Lo anterior reporta los coeficientes estimados transformados a razones de tasas de incidencia (IRR), los errores estándar y los intervalos de confianza correspondientes, esta transformación del valor (de coeficientes a IRR) solamente afecta el cómo se muestran los resultados, pero no el método de estimación. Un IRR mayor al valor de uno evidencia que la variable independiente tiene peso en la explicación del comportamiento de la variable dependiente, siempre que el valor de p valide el modelo (valor de p menor a 0,05).

Adicionalmente, se calculó una regresión ponderada geográficamente (GWR) la cual genera como salida un modelo local de la asociación estudiada, ajustando la ecuación de regresión a cada uno de los distritos de la base de datos con el fin de

identificar variaciones geográficas. Lo anterior se realizó en el programa ArcMap versión 10.4.1.

La regresión geográfica es ideal para procesos espacialmente heterogéneos, considera parámetros como la cercanía y la similitud, por lo que las observaciones que se encuentran más cercanas al punto toman un mayor peso en la estimación que las observaciones que están más alejadas (Charlton y Fotheringham, 2009). El esquema de ponderación utilizado es el Kernel adaptativo, el cual fija medidas de variación de densidad mayores donde se hallan valores dispersos y menores donde están concentrados (ESRI, 2018a).

Como salida del modelo se analizaron los coeficientes y los errores estándar (residuos) generado por el programa para cada distrito, los cuales se representan en cartografías para mejorar su comprensión (ESRI, 2018b). Los residuos representan el valor sin explicar de la variable dependiente (trastornos) por las variables independientes consideradas (concentración de NO₂ y PM₁₀), o bien el peso que tienen otras variables que no han sido consideradas en el modelo.

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 (ESRI, 2018b).

El modelo de GWR fue aplicado solamente a las variables dependientes que, en las pruebas aplicadas en el análisis espacial de los eventos en salud (prueba I de Moran), dieron como resultado la presencia de autocorrelación o agrupamiento por procesos no aleatorios.

3.6. Consideraciones éticas

La presente investigación posee un diseño ecológico por lo que se utilizó como principal fuente bases de datos anónimos, en consecuencia, el investigador no tuvo contacto con la población en estudio. Por lo anterior, no aplica la generación de un consentimiento informado, ya que solo se utilizaron datos en donde las identidades de los casos son confidenciales.

No obstante, esta investigación siempre buscó alcanzar los máximos beneficios posibles evitando a su vez el riesgo a la salud de la población obedeciendo al principio de beneficencia y no maleficencia. Del mismo modo, se veló por el principio de justicia, tratando con el mismo nivel de importancia a todos los actores involucrados y utilizando la información disponible brindada por las instituciones de manera objetiva y transparente.

Asimismo, los resultados del presente estudio fueron generados por las técnicas cuantitativas antes descritas, priorizando la objetividad en todas las fases de análisis por lo que las conclusiones están respaldadas por el principio de honestidad, asegurando que lo comunicado a las partes interesadas sea información veraz.

Cabe aclarar que los resultados que se generaron son para uso académico y como posible base para futuras investigaciones o publicaciones en las que las bases de datos y resultados permanecerán igualmente anónimos.

IV. RESULTADOS

En el presente capítulo se engloban los resultados de la calidad del aire de 154 áreas geográficas poblacionales (distritos) ubicadas en el GAM y la aparición de ciertos eventos en salud, específicamente el número de casos de los trastornos planteados, con el objetivo de identificar patrones de distribución de las concentraciones de contaminación y las tasas de salud para la construcción de una hipótesis.

Con respecto a los datos de calidad del aire se analizaron los recolectados en un total de 59 puntos de muestreo del 2016 al 2019, incluyendo estaciones de muestreo manual de partículas, estaciones automáticas y muestreos de difusión pasiva. Cabe destacar que, por fallos en las estaciones o por interrupciones de otra índole existen vacíos de datos en ciertos lapsos de tiempo para algunas estaciones en el periodo de estudio.

Por su parte, al ser la presente investigación de tipo ecológico no se puede obviar que su principal papel es la exploración del comportamiento de las variables con el potencial de evidenciar la situación de riesgo en las áreas geográficas en estudio, con la intención de generar hipótesis

Los resultados serán presentados en tres momentos, uno primero descriptivo de cada una de las variables independientes (contaminación por NO₂ y PM₁₀) y dependientes (suicidio, intento de suicidio y depresión) por separado, lo que permite evidenciar el comportamiento en el tiempo y el espacio. El entender la dinámica de las variables es un avance esencial para establecer posteriormente una asociación entre las variables independientes (concentración de contaminantes) y las dependientes (trastornos). La descripción del comportamiento de los valores es por sí mismo una herramienta para orientar acciones de salud pública pertinentes y fundamentadas.

La información es analizada en diferentes escalas de tiempo (años y meses) y en el caso de los trastornos se representó el comportamiento de los eventos por edad, sexo y distritos, con la finalidad de identificar poblaciones mayormente afectadas a partir de indicadores de salud en valores absolutos, relativos y tasas. Los datos correspondientes a concentraciones de contaminación son analizados primeramente por estaciones o puntos de monitoreo, así como su comportamiento en el tiempo (anual y mensual por estaciones) y luego espacialmente (por distritos) y sus posibles conexiones con otras variables ambientales involucradas en la dispersión.

En un segundo momento se generó un análisis de riesgo de padecer los trastornos en estudio asociados a niveles de exposición a contaminación del aire, por lo que se vuelven a presentar algunos indicadores de salud, pero esta vez agrupados por zonas de exposición, lo cual facilita elementos para fundamentar la generación de una hipótesis.

Finalmente, se determina el grado de correlación de la contaminación del aire por NO₂, así como PM₁₀ con la mortalidad por suicidio, incidencia de intento de suicidio y depresión para el periodo del 2016 al 2019. Se tiene como propósito ofrecer a quienes toman decisiones, insumos para mejorar la regulación de la salud ambiental en el área de salud pública y mental.

4.1. Descripción de las variables

En este apartado se describe en primera instancia el comportamiento de los trastornos de suicidio, intento de suicidio y depresión, así como la manifestación en el tiempo y espacio de la contaminación por NO₂ y PM₁₀ en los 4 años de estudio en 154 distritos del GAM. Se incluyeron solamente los distritos que se encontraban completamente dentro de los límites político-administrativos de la GAM por lo que se excluyeron 14 distritos: Rosario (10309), Jaris (10706), Guayabo (10702), Cascajal (11105), Dulce Nombre de Jesús (11103), Quitirrisí (10707), San Juan (20802), Sabana Redonda (20805), Sabanilla (20107) Aguacaliente (30105), Dulce Nombre (30109), Orosí (30203), Santa Rosa (30705) y San Isidro (30802).

De modo que esta primera sección, se establece un panorama general de cada una de las variables de manera individual.

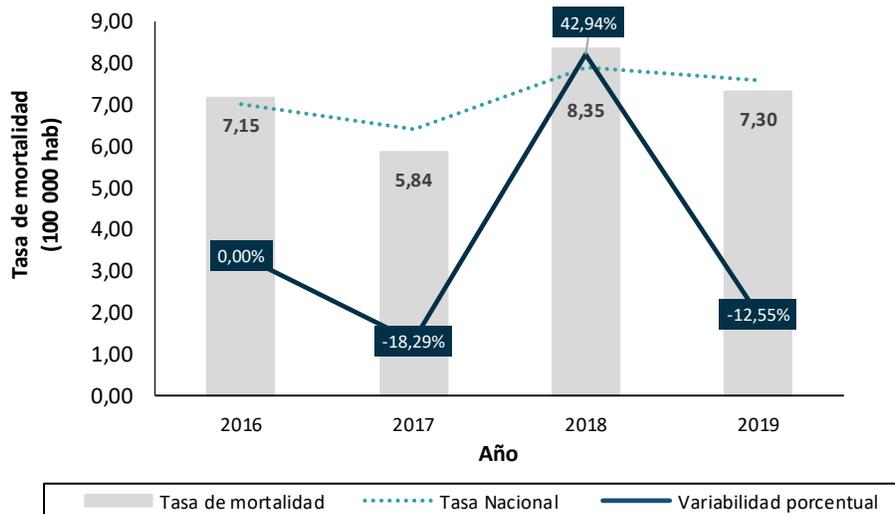
Trastornos en estudio

A continuación, se presenta un análisis descriptivo de los trastornos: suicidio, intento de suicidio y depresión con la finalidad de comprender su comportamiento en espacio y tiempo.

4.1.1.1. Suicidio

Para el periodo del 2016 al 2019 se presentaron un total de 700 defunciones por suicidio y una tasa de mortalidad cruda de los distritos en estudio de la GAM de 28,80 por cada 100 000 habitantes, tasa muy cercana a la medida nacional para el mismo periodo (28,72). La tendencia del acto suicida no parece tener un comportamiento claro de crecimiento para el periodo analizado (gráfico 1), no obstante, en el 2018 se muestra un incremento del 44,33 % con respecto al año anterior. Para ese mismo año se tuvo una tasa anual de 8,35 por cada 100 000 hab, lo cual concuerda con el alza en los casos ocurridos a nivel nacional, la tasa nacional solamente fue superada por la GAM en el 2016 y 2018.

Gráfico 1. Tasa de mortalidad anual (100 000 hab) por suicidio de la GAM para el periodo del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del INEC, 2021

En cuanto al género, los distritos en estudio siguen la tendencia nacional y la de otras partes del mundo, en donde las tasas de suicidios en hombres sobrepasan las tasas observadas en las mujeres, de los distritos analizados un 76 % de todos los casos por suicidio ocurrieron en hombres. La relación hombre-mujer de suicidios en la GAM es de 3,92; es decir, por cada caso de suicidio en mujeres ocurren aproximadamente 4 en

hombres, la tendencia inversa solamente ocurrió en 7 de los distritos estudiados (4,54% del total de territorios estudiados).

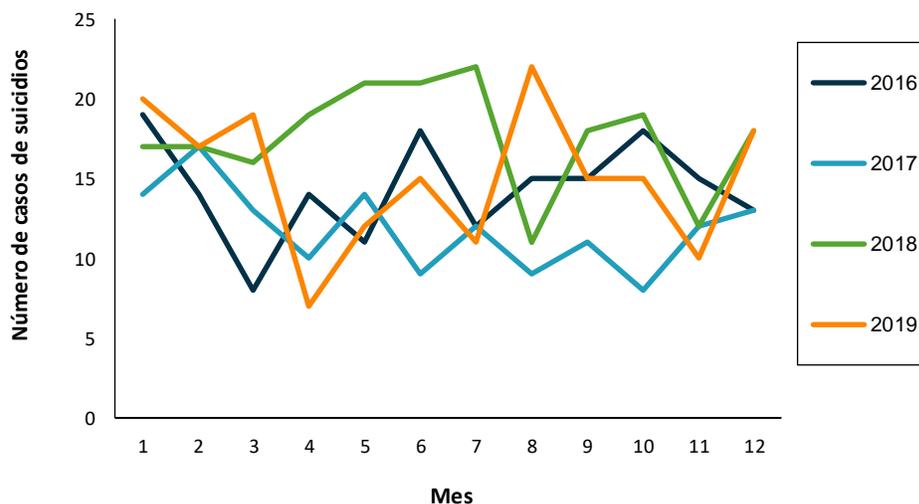
La distribución de los casos relativos en el GAM por edades se concentra en el grupo quinquenal de 30 años a 34 años (13,3 %), seguido por el grupo de 40 años a 44 años (11 %) y 20 años a 24 años (10,8 %) durante el periodo del 2016 al 2019. Adicionalmente, las tasas son un indicador que contempla el tamaño de la población en la que ocurren las muertes, en cuanto a ellas se evidencia que los grupos etarios con mayores tasas son las personas de 45 años a 49 años (4,98 por cada 10000 hab), 20 años a 24 años (4,40 por 10 000hab), 40 años a 44 años (3,98 por cada 10 000 hab) y 30 años a 34 años (3,95 por cada 10 000 hab).

Indiferentemente del indicador se refleja una acumulación de casos en las personas adultas jóvenes y adultas, lo que coincide con la situación de América (OMS, 2016). Este comportamiento se ha visto reflejado en otros estudios a nivel nacional en donde llama la atención que la adolescencia no destaque entre los grupos de edad con mayores tasas de suicidio, pues se ha generado la idea de que es un comportamiento típico en esa etapa de vida (Sáenz, 2011).

La variación de las tasas durante los 4 años (2016-2019) fue diferenciada para cada uno de los grupos etarios (en unos aumentaron, en otros descendieron), en general las tasas entre los 20 años y 54 años, y el grupo poblacional de 60 a 74 años sufrieron un incremento de la mortalidad en el primer (2016) y último año (2019) del periodo (anexo 5).

En los sitios estudiados del GAM, al mes ocurrieron un promedio de 15 suicidios, presentándose un máximo de 22 eventos por mes para el periodo en estudio (2016-2019) y un mínimo de 8 eventos por mes. No se identifica un patrón en la ocurrencia de casos por mes, es decir no se distingue un mes en el que todos los años exista un incremento excesivo de eventos (gráfico 2). Al agruparse en temporadas, se observa una mayor acumulación del número absoluto de suicidios en la época seca (489 suicidios) en comparación con la época lluviosa (403 suicidios).

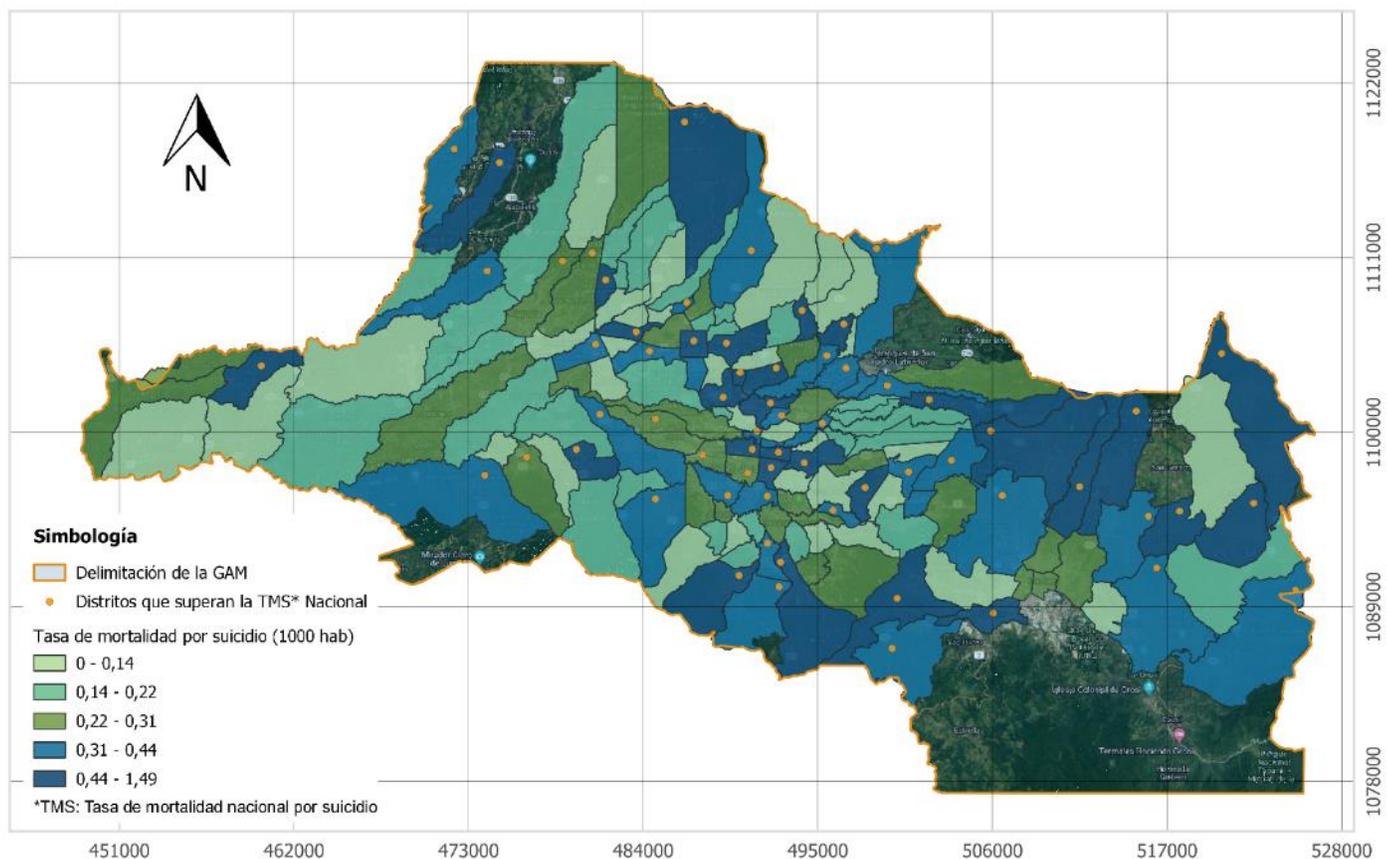
Gráfico 2. Segmentación temporal-mensual de los eventos de suicidio ocurridos en el GAM en los años del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del INEC, 2021

Espacialmente se observa que no hay un patrón definido en el área de estudio (figura 1), sino que la densidad de los casos se encuentra distribuida en los distritos de las 4 porciones de provincias que abarca la GAM, no obstante, parece ser que conforme se avanza del noroeste al sureste la cantidad de distritos con mayores tasas se incrementan. Incluso, el mayor porcentaje de distritos que supera la tasa de mortalidad por suicidio nacional (distritos con puntos amarillos) para el periodo de estudio (0,29 por 1 000 hab) se ubican en el sureste de la GAM (Cartago), seguido por los ubicados en el centro (San José).

Figura 1. Tasa de mortalidad por suicidio por 1 000 habitantes en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, del 2016 al 2019



Tomado de: Ministerio de Salud

Escala 1:250000

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

A pesar de lo observado, el índice de Moran que permite visualizar la autocorrelación espacial respaldada estadísticamente de los datos distritales demuestra que para la variable suicidio no hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula (valor p : 0,969057), lo que quiere decir que la distribución espacial de los valores posee una mayor posibilidad de ser resultado de procesos espaciales aleatorios (anexo 6).

Asimismo, un 47 % de los distritos estudiados presentaron una tasa de mortalidad que supera la nacional, los distritos con las mayores tasas de mortalidad por suicidio son los siguientes:

Cuadro 4. Distritos con mayores tasas de suicidio (por 1 000 habitantes) de la GAM en el periodo del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de mortalidad por suicidio	Código	Distrito	Tasa de mortalidad por suicidio
40308	Para	0,99	10104	Catedral	0,71
10101	Carmen	0,98	30108	Tierra Blanca	0,70
10806	Rancho Redondo	0,97	40101	Heredia	0,68
20501	Atenas	0,89	40601	San Isidro	0,63
30703	Potrero Cerrado	0,77	30110	Llano Grande	0,61
11803	Sánchez	0,76	40301	Santo Domingo	0,59
30603	Capellades	0,76	40306	Santa Rosa	0,56
20801	San Pedro	0,75	10901	Santa Ana	0,55

Nota: Como referencia la tasa de suicidio nacional para el periodo por 1000 habitantes fue de 0,29.

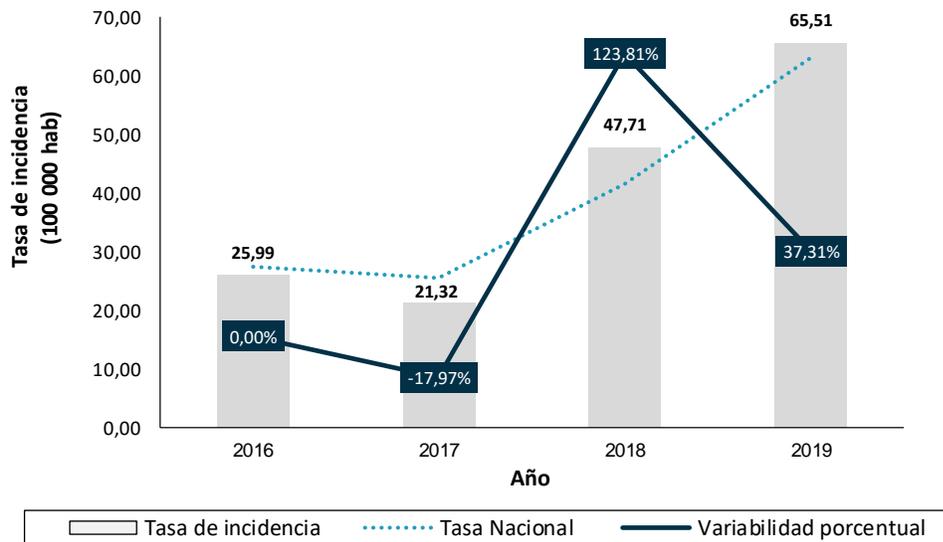
Fuente: elaboración propia con datos de INEC, 2022.

Adicionalmente, se analizó el grado de urbanización de los distritos con mayores y menores tasas de suicidio, sin embargo, no se identificó un patrón evidente ya que en ambos grupos (tasas altas y bajas) se encontraban zonas urbanas, predominantemente urbanas, rurales y predominantemente rurales.

4.1.1.2. Intento de suicidio

Por cada suicidio consumado en el GAM se estima que se dan alrededor de 6 intentos de suicidios. Para el periodo de estudio se identificaron un total de 3 901 casos de intento de suicidio, lo que significó una tasa de incidencia bruta de 159,62 por cada 100 000 habitantes, dicha estimación supera levemente la tasa de incidencia nacional durante los mismos años (157,21 por cada 100 000 hab). Se puede determinar que a diferencia del suicidio esta variable presenta una tendencia al crecimiento clara (gráfico 3), solo mostrando un descenso en el año 2017. La tasa de incidencia nacional fue superada por la de la GAM en el 2018 y en el 2019, no obstante, el año con mayor tasa fue el 2019 con un valor de 65,51 por cada 100 000 habitantes.

Gráfico 3. Tasa de incidencia bruta (100 000 hab) por intento de suicidio de la GAM para el periodo del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, 2021

El crecimiento de casos puede darse por diversos factores que incluirían por un lado un fortalecimiento del sistema de vigilancia del trastorno en mención por su inclusión en el decreto de declaración obligatoria en el 2012 y por otro lado el incremento como tal propio de los casos. A diferencia de las muertes por suicidio, un 63,75 % de los intentos de suicidios fueron dados en las mujeres, esta situación se refleja en cada uno de los distritos en estudio con excepción de 9 de ellos (Merced, San Juan de Dios, San Francisco, San Rafael, Santiago, Potrero Cerrado, Mercedes, San José de la Montaña y Santo Domingo) en los que las tasas en hombres son mayores. Diversos autores han llegado a la misma conclusión en cuanto al suicidio y género evidenciando que las mujeres realizan más intentos, pero los hombres cometen más suicidios (Jalón y Peralta, 2002) (Tuesca y Navarro, 2003).

En cuanto a eso, la OMS expone que dicho suceso se debe a que los métodos de suicidio en hombres tienden a ser más violentos y por lo tanto letales (OMS, 2016c). Courtenay (2013) manifiesta que esto suele ocurrir por el rol de género impuesto por la masculinidad que en muchas ocasiones se liga al silencio ante la vulnerabilidad y a una ausente o deficiente red asistencial.

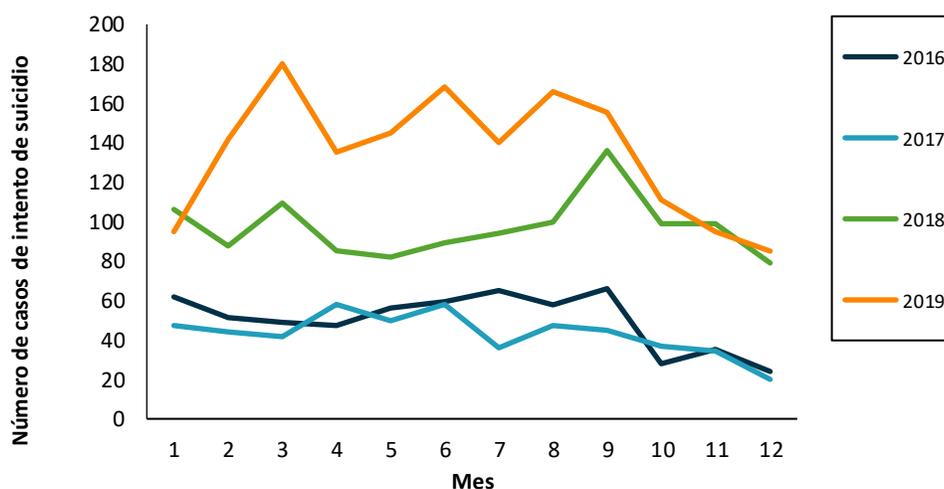
Las notificaciones de intento de suicidio se concentraron en las personas entre 15 años a 19 años (20,33 % de los casos con una tasa de 44,82 por cada 100 000 hab),

llama la atención que se evidencian intentos desde los 5 años. La OMS ha demostrado un aumento continuo en los casos de conductas suicidas en el grupo de 15 años a 19 años a nivel global, parte de la vulnerabilidad de esta población se debe al periodo de transición que enfrentan, un proceso de estructuración de la personalidad, estrategias de afrontamiento débiles y un mayor grado de dependencia de las relaciones externas (Vargas y Saavedra, 2012) (OMS, 2016c) (OMS, 2014).

La tendencia al crecimiento de las tasas se observa en la mayoría de los grupos de edad, en el que el año pico fue el 2019 (anexo 7). En este trastorno en específico los casos se presentan con mayor intensidad en las personas adolescentes y adultas jóvenes, asimismo se observa un descenso en las tasas conforme la población crece o envejece (anexo 7), caso contrario al suicidio que se mantiene en la población adulta.

Al igual que en el suicidio no se identifica un patrón mensual en la ocurrencia de intentos de suicidio a través de los años (gráfico 4), si se puede observar que en todos los años hay un descenso en el mes de diciembre. Para este trastorno se estima que hay un promedio de 81 intentos por mes en el GAM, siendo 180 eventos la mayor cantidad de casos identificados por el Sistema de Vigilancia y 20 casos, el mínimo.

Gráfico 4. Segmentación temporal-mensual de los eventos de intento de suicidio en el GAM en los años del 2016 al 2019

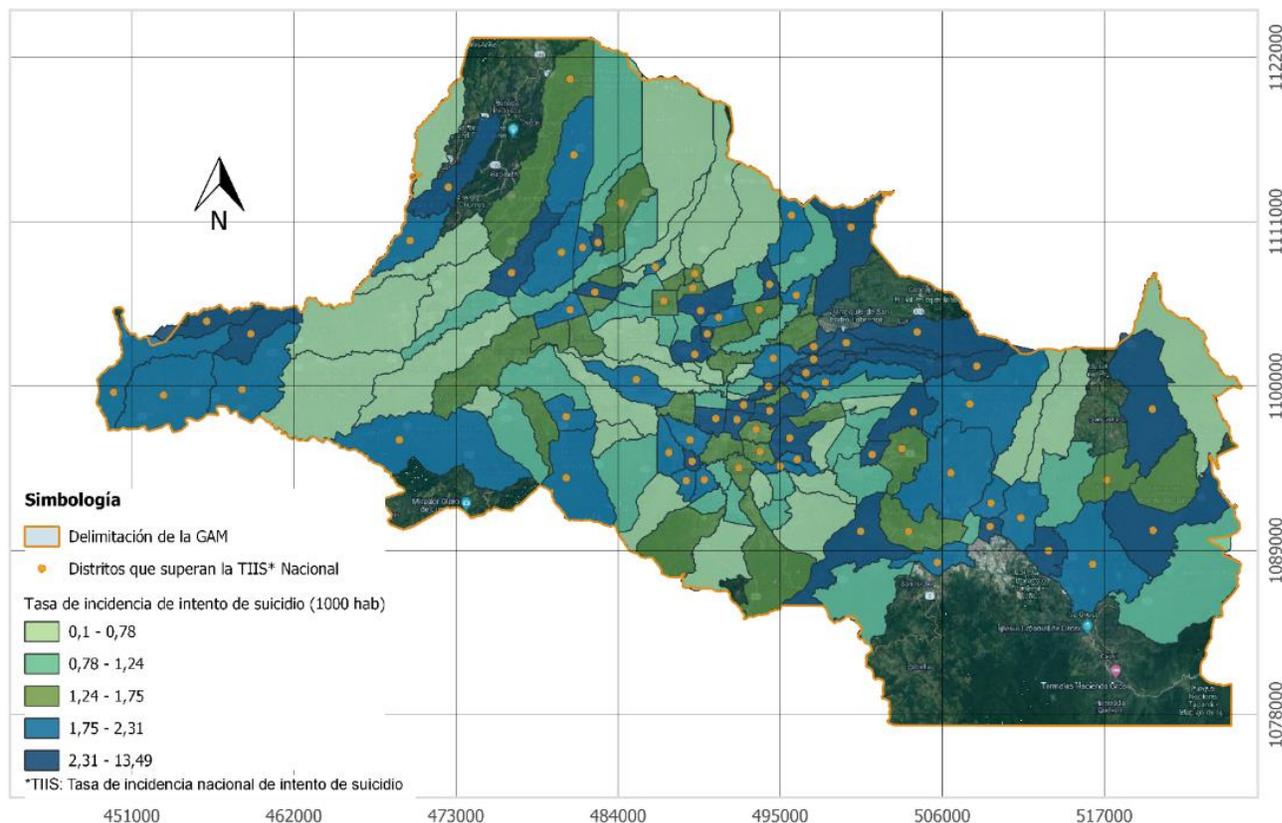


Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, 2021.

A nivel distrital la tasa de incidencia ajustada por edad muestra que en un 48 % de las áreas estudiadas se supera la tasa nacional (1,57 por cada 1 000 habitantes), si bien es cierto que se encuentran distritos que superan la tasa nacional por toda la GAM, se identifican 3 puntos en los que se concentran las tasas más altas: extremo oeste

(extensión de Alajuela), en el centro (San José) y el cuadrante del noreste al sureste (parte de Cartago). El mayor número absoluto de distritos que superan la tasa nacional (1,57 por cada 1 000 habitantes) se ubican en el área central correspondiente a la provincia de San José.

Figura 2. Tasa de incidencia de intento de suicidio ajustada por edad por cada 1 000 habitantes en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, del 2016 al 2019



Tomado de: Ministerio de Salud

Escala 1:250000

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

Según el índice de Moran no existe evidencia significativa para afirmar la presencia de clústeres espaciales de las tasas de intento de suicidio (valor p : 0,173201), al igual que el suicidio la distribución de los datos obedece probablemente a procesos espaciales aleatorios (anexo 6), aun cuando se observan algunas agrupaciones de distritos con altas tasas.

Asimismo, se identifica que los distritos con mayores tasas ajustadas por edad de intento de suicidio son los citados en la cuadro 5. Es conveniente evidenciar que hay algunas coincidencias entre los distritos con mayores tasas de suicidio y elevadas tasas de intento de suicidio (por ejemplo, Carmen, Rancho Redondo, San Isidro, Santo

Domingo, Santa Rosa, entre otros) existe la posibilidad que este hecho se presente porque el intento de suicidio constituye el principal factor de riesgo para el suicidio (OMS, 2016).

Cuadro 5. Distritos con mayores tasas de intento de suicidio ajustadas por edad (por 1 000 habitantes) de la GAM en el periodo del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de incidencia ajustada por edad	Código	Distrito	Tasa de incidencia ajustada por edad
10101	Carmen	13,49	30306	Dulce Nombre	3,36
10806	Rancho Redondo	5,23	10103	Hospital	3,32
11101	San Isidro	4,40	40306	Santa Rosa	3,29
40601	San Isidro	4,23	10104	Catedral	3,24
30101	Oriental	4,21	11501	San Pedro	3,09
10805	Ipís	3,88	30301	Tres Ríos	2,99
40301	Santo Domingo	3,87	10807	Purral	2,96
40801	San Joaquín	3,61	20503	Mercedes	2,86

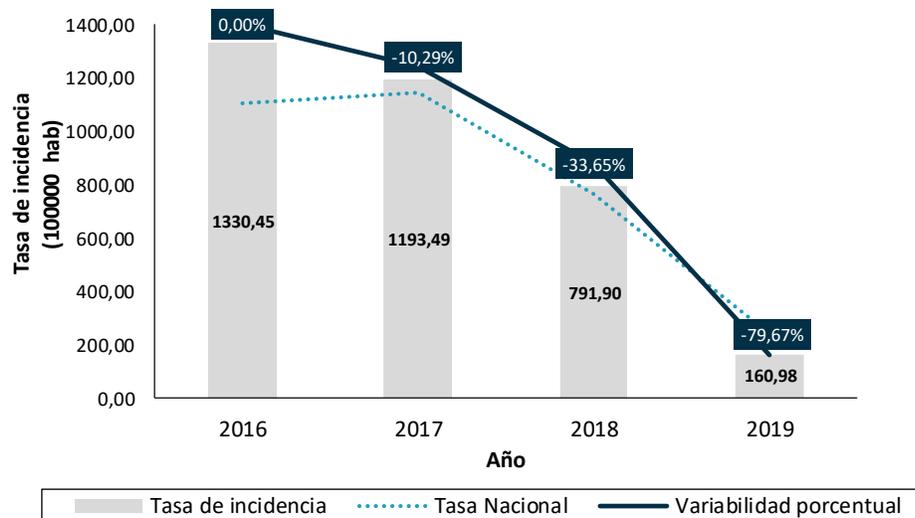
Nota: La tasa de incidencia de intento de suicidio nacional de referencia durante el periodo en estudio fue de 1,57 por cada 1 000hab.

Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, 2021.

4.1.1.3. Depresión

Se presentaron alrededor de 83 057 casos de depresión durante los 4 años de estudio, lo que se traduce en una tasa de incidencia para el periodo de 3 418,18 por cada 100 000 habitantes, número que supera la tasa nacional para los mismos años (3 154,26 por cada 100 000 habitantes). La tendencia de las tasas de depresión a través del tiempo para los distritos de la GAM parece descender cada año de estudio y es hasta el año 2019 que la tasa de la GAM se mantiene por debajo de la tasa nacional (gráfico 5).

Gráfico 5. Tasa de incidencia bruta (100 000 hab) por depresión de la GAM para el periodo del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, 2021

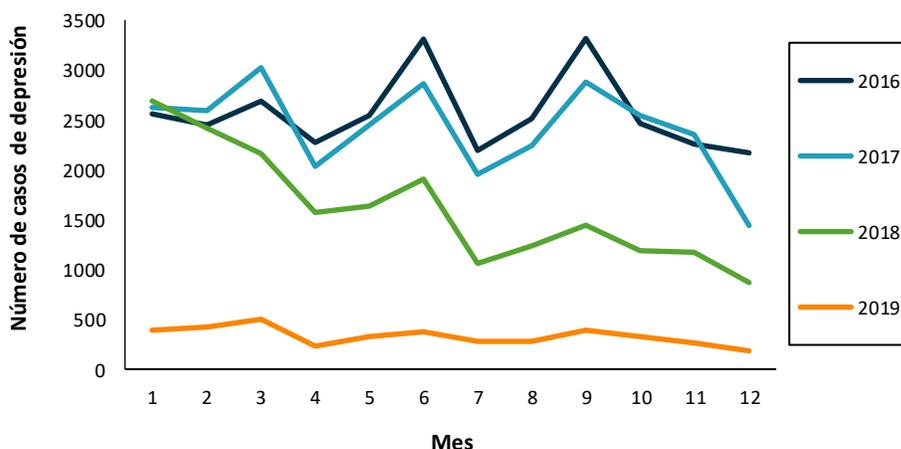
Al igual que en los intentos de suicidio y otros trastornos como la ansiedad (OMS, 2017) se observa una mayor concentración de casos en las personas mujeres (74 %) y en menor medida en los hombres. Este comportamiento se presenta en todos los distritos con excepción de 17 de ellos (11,04 % de los distritos estudiados) en los que la distribución es igual para ambos sexos o el porcentaje en hombres es mayor.

La relación de los casos enfocado en la razón mujer-hombre en la GAM es de 2,92; es decir, por cada caso de depresión en hombres se presentan aproximadamente 3 en mujeres, similar a la situación nacional (Sequeira, et al., 2022). Según un informe de la OMS (2017) este acontecimiento se presenta en todas las regiones del mundo, en donde las mujeres presentan mayor número de casos y los más elevados indicadores de salud en los trastornos depresivos (Labaka et al., 2018).

Lo anterior se ha respaldado con hipótesis en torno al género y su comportamiento diferenciado en la sociedad, estudios en otras zonas han demostrado que las mujeres presentan mayores niveles de estrés que los hombres y que además le dan un nivel diferente de importancia y de manejo. Por lo citado, las mujeres son más propensas a acceder a ayuda profesional, mientras que en los hombres se ha identificado la tendencia de canalizar los síntomas de la depresión y manejo del estrés a través del deporte (APA, 2011).

Asimismo, existe el riesgo de subestimación o subrepresentación del registro de casos en hombres, ya que esta población asiste en menor medida a la atención de su salud mental, así lo evidencia un estudio realizado en una de las Áreas Rectoras de Salud ubicada en la GAM, en el cual se demostró que las mujeres asisten con mayor frecuencia a las citas relacionadas con la salud mental como una herramienta de afrontamiento hacia las demandas de la vida (Araya et al., 2020, p.12).

Gráfico 6. Segmentación temporal-mensual de los eventos de depresión ocurridos en el GAM en los años del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, 2021.

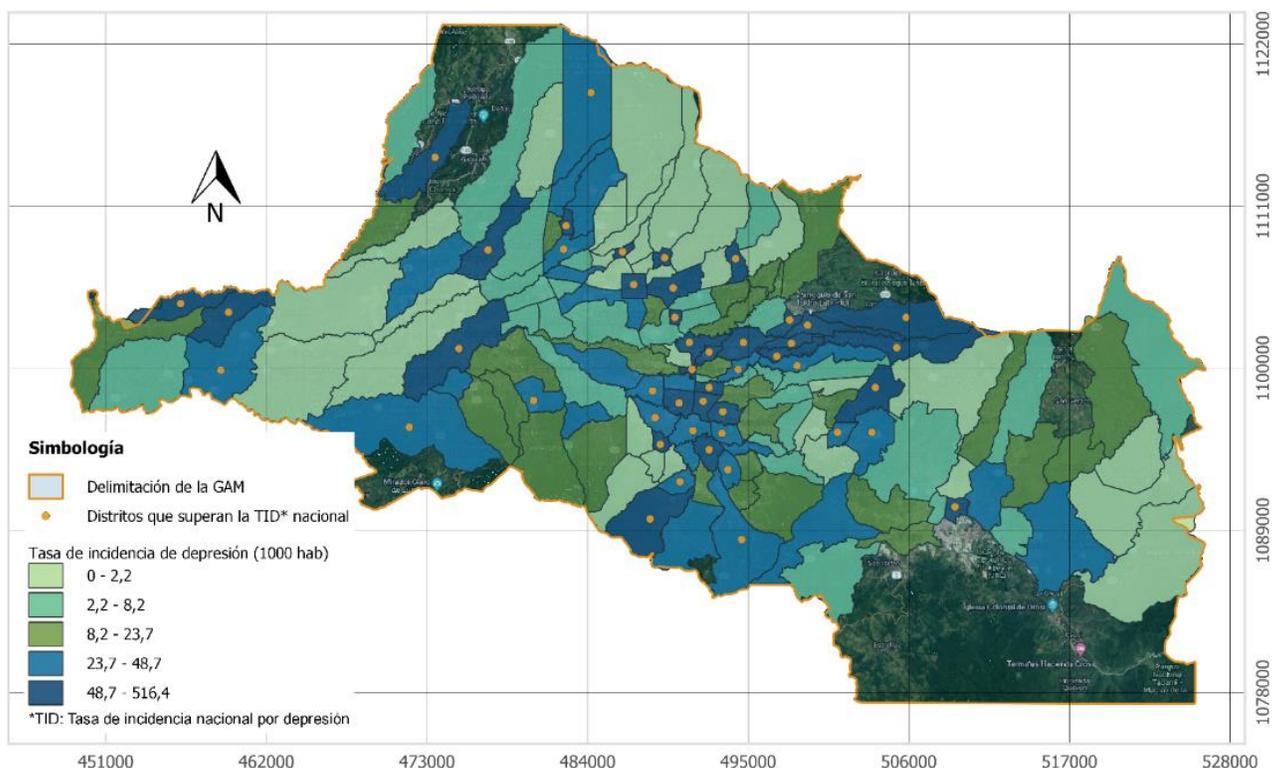
En cuanto a la distribución de los casos según la edad se observa un incremento conforme la persona envejece, presentándose la mayor tasa de depresión (1 576,55 por cada 100 000 hab) en la población de 65 años y más. Un estudio enfocado en la población geriátrica de Costa Rica evidencia que la depresión es de hecho uno de los factores de riesgo que contribuyen a la disminución del desempeño funcional, por lo que acciones dirigidas a la prevención y la atención temprana de esta población funcionarían además como una medida preventiva ante la discapacidad (Bolaños y Helo, 2015). En el

anexo 8 se puede identificar claramente que en todos los grupos de edad los eventos de depresión han disminuido considerablemente con el pasar de los años del estudio, el año con menores tasas de depresión en todos los grupos poblacionales fue el 2019.

En la GAM se presentaron en promedio (para el periodo de estudio) un total de 1 730 eventos de depresión por mes, con 3 315 eventos alcanzados como máximo y 184 el mínimo. En el gráfico 6 se identifican 3 momentos con picos de casos: el mes de marzo, junio y setiembre, presentándose un menor número de casos en el mes 12 en todos los años. La descripción de los datos según temporada muestra más casos en la temporada seca (49 277) que en la lluviosa (47 766).

Espacialmente, las tasas de depresión ajustadas por edad más elevadas se encuentran dispersas por el GAM, no obstante, se observa una mayor cantidad de distritos con tasas más elevadas en el centro y noreste de la provincia de San José. Para este trastorno en específico, un 31 % de los distritos superan la tasa nacional de depresión para el periodo del 2016 al 2019, estos se ubican en su mayoría en la parte de la GAM correspondiente a San José.

Figura 3. Tasa de incidencia de depresión ajustada por edad por cada 1 000 habitantes del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, del 2016 al 2019



Tomado de: Ministerio de Salud

Escala 1:250000

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

El grado de correlación según el índice de Moran permite rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95 % (valor p: 0,007526), por lo que demuestra una distribución de datos de tipo agrupado, lo que refleja autocorrelación de concentración para los valores o tasas altas (anexo 6). Se identifican los siguientes distritos con las mayores tasas de depresión ajustadas por edad en el área de estudio:

Cuadro 6. Distritos con mayores tasas de incidencia ajustada por edad de depresión (por cada 1 000 habitantes) de la GAM en el periodo del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de incidencia ajustada por edad	Código	Distrito	Tasa de incidencia ajustada por edad
10101	Carmen	516,42	11001	Alajuelita	126,61
40201	Barva	354,52	40401	Santa Barbara	111,54
11302	Cinco Esquinas	210,08	10105	Zapote	109,40
30306	Dulce Nombre	194,66	40601	San Isidro	108,98
40301	Santo Domingo	159,84	20801	San Pedro	108,84
10104	Catedral	145,81	10805	Ipís	99,90
40101	Heredia	133,58	11101	San Isidro	92,35
10806	Rancho Redondo	128,29	10103	Hospital	80,08

*Para referencia la tasa de incidencia de depresión nacional para el periodo en estudio fue de 31,54 por cada 1 000 habitantes.

Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, 2021.

Contaminación del aire

4.1.2.1. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

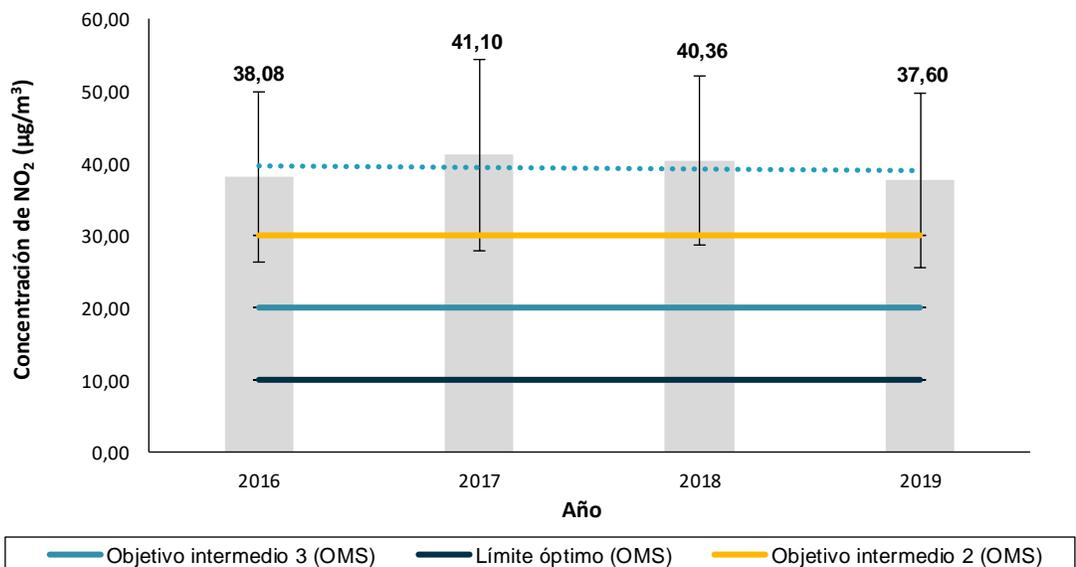
A continuación, se analiza el comportamiento de los datos de concentración recolectados por muestreo pasivo en 49 puntos distribuidos en diversos sitios del GAM, específicamente en el cantón de San José (28), Belén (11) y Escazú (10). Se inicia con una observación del comportamiento a través del tiempo según los datos de los puntos

de muestreo y posteriormente se analizan espacialmente los distritos incluidos en la interpolación para determinar zonas de exposición al contaminante en cuestión.

En el gráfico 7 se presentan los promedios anuales de dióxido de nitrógeno registrados en los puntos de monitoreo de calidad del aire para los años estudiados. Según los resultados no se da un incumplimiento de la normativa nacional que establece su límite máximo permisible anual en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (N° 39951-S). El comportamiento de los valores a través de los años no parece tener una tendencia de crecimiento o descenso, sino que se estuvo oscilando mínimamente manteniéndose una concentración casi estable a través del tiempo, entre los $37,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los $41,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La OMS establece en el 2020 una serie de objetivos intermedios provisionales que funcionan como incentivo para que los países vayan alcanzando cada meta paulatinamente, cada reducción supone una disminución del riesgo de enfermar por eventos asociados con la contaminación atmosférica, demostrado por la OMS en la misma guía. Según esto, la GAM cumple con el primer objetivo intermedio anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en el último año de estudio y debe optar por alcanzar el segundo objetivo intermedio tanto en lo teórico a nivel político (legislación) como en la práctica según el comportamiento de los datos, siempre con una visión de reducción gradual para alcanzar el límite óptimo ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Gráfico 7. Promedio de concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el GAM, para los años del 2016 al 2019

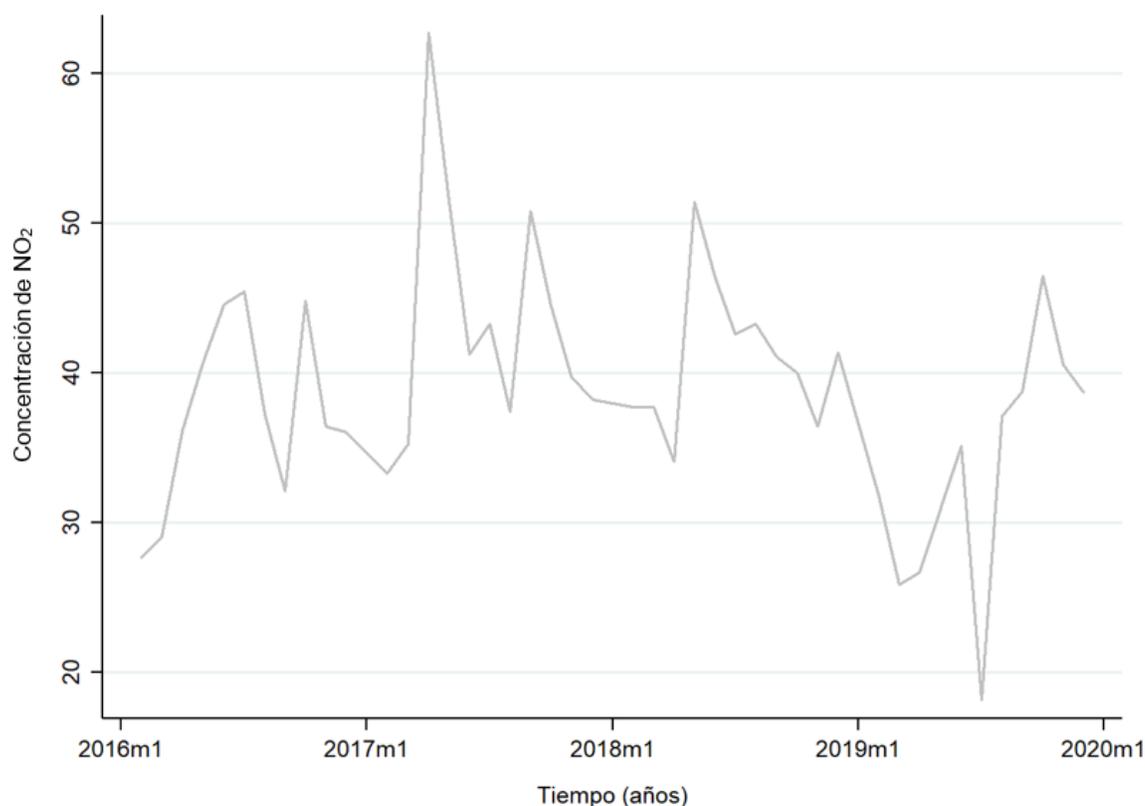


Nota: datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

En el gráfico 8 se muestran los valores mensuales de NO₂ a través del tiempo, hay un tendencia al aumento en los meses de abril a julio para todos los años (2016-2019) que se mantiene por varios meses, desciende y vuelve a aparecer un pico en setiembre y/o octubre, con excepción del año 2019 que posee su mayor valor pico solamente en octubre. El año con los mayores promedios mensuales fue el 2017, no obstante, como se mencionó anteriormente las concentraciones entre los promedios anuales fueron muy parecidas entre sí. A modo de aclaración, la disminución abrupta a mediados del año 2019 se debe a una falta de registro de datos en ese momento, no al descenso como tal de la concentración.

Gráfico 8. Tendencia de la concentración mensual promedio de NO₂ en el GAM para el periodo del 2016 al 2019



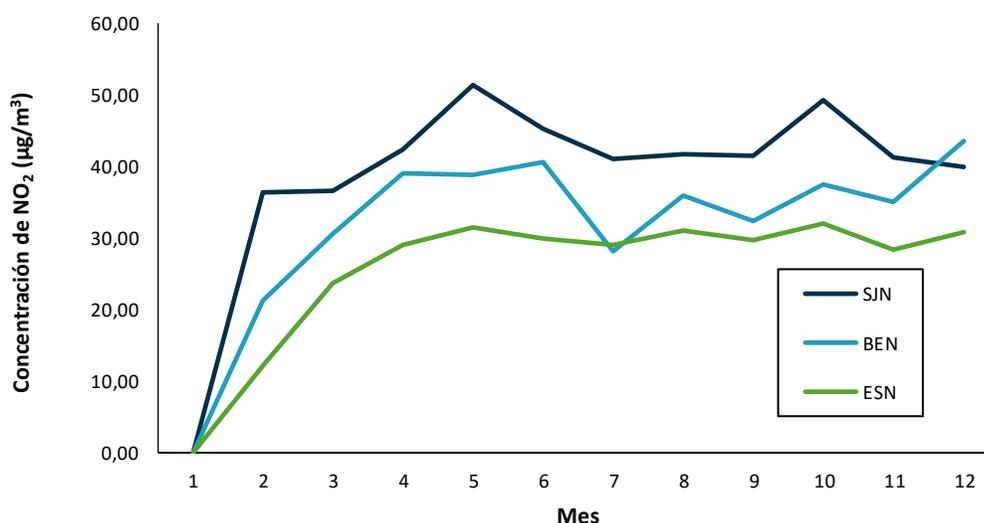
Nota¹: El m1 en el eje de las abscisas se refiere al mes 1 de cada año de estudio.

Nota²: datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

El agrupamiento mensual de las muestras por ubicación espacial para todo el periodo (gráfico 9) muestra el mismo resultado, se determinan dos momentos de aumento de las concentraciones, los cuales se sitúan en el mes 5 y/o 6 (mayo-junio) y en el mes 10 (octubre), únicamente los puntos de muestreo ubicados en Belén (BEN) y Escazú (ESN) perciben un aumento en el mes 12 (diciembre).

Gráfico 9. Segmentación del promedio temporal en función de la ubicación de los puntos de muestreo según la variación mensual en la GAM considerando el periodo del 2016 al 2019



Nota¹: No se contaban con datos disponibles del mes 1.

Nota²: promedio mensual obtenido a partir de datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

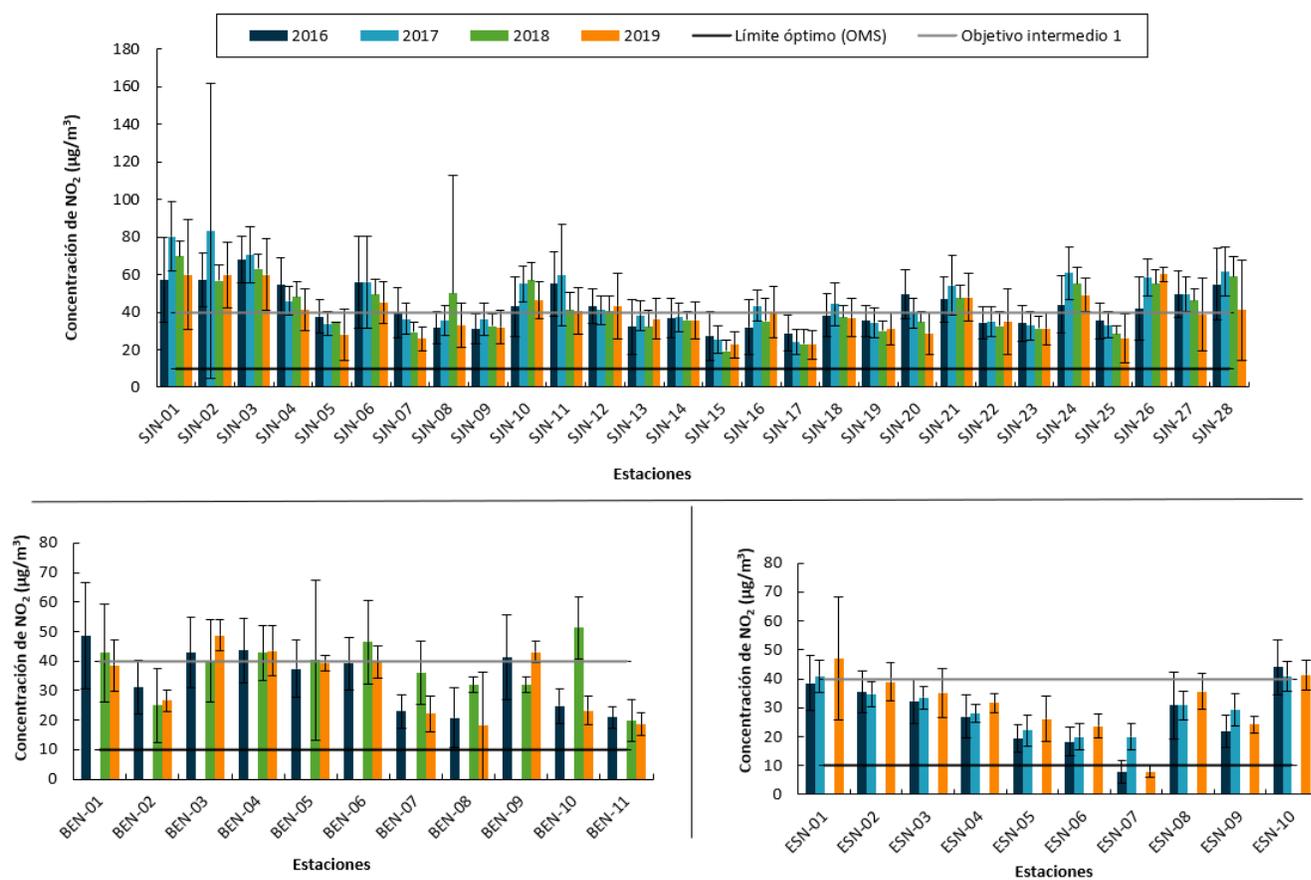
Para el año de estudio más reciente (2019), un 39 % de los puntos de muestreo ubicados en San José no cumplieron con el objetivo intermedio anual más alto ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido por la OMS, de igual manera no cumplieron un 27 % y un 20 % de los sitios monitoreados en Belén y Escazú respectivamente. En el gráfico 10 se presenta un comparativo multianual desde el año 2016, en el cual se refleja además del cumplimiento de la normativa nacional (límite: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), el objetivo intermedio 1 de la OMS (línea gris) y el límite ideal (línea negra).

A partir del análisis se destaca de manera general que para el periodo en cuestión y específicamente para los puntos de muestreo de San José se evidencia una tendencia

de disminución a través de los años, algunos sitios incluso llegando a cumplir el objetivo intermedio 1 de la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), solamente en 3 lugares se observa un aumento en el tiempo (SJN-13, SJN-16 y SJN-26).

Asimismo, en las muestras recolectadas en Belén, la mayoría se mantienen o presentan una tendencia indefinida o poco clara, únicamente dos de los sitios sufren una disminución (BEN-01 y BEN-02) y uno aumenta (BEN-03) en el tiempo. Entre tanto, en el caso de los puntos de recolección de datos ubicados en Escazú, se encuentra que un 70 % de los sitios experimenta un aumento en la concentración a través de los años, el resto presenta una tendencia poco clara.

Gráfico 10. Evolución multianual promedio de concentraciones anuales de NO_2 para las estaciones ubicadas en el GAM



Nota: promedio anual obtenido a partir de datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

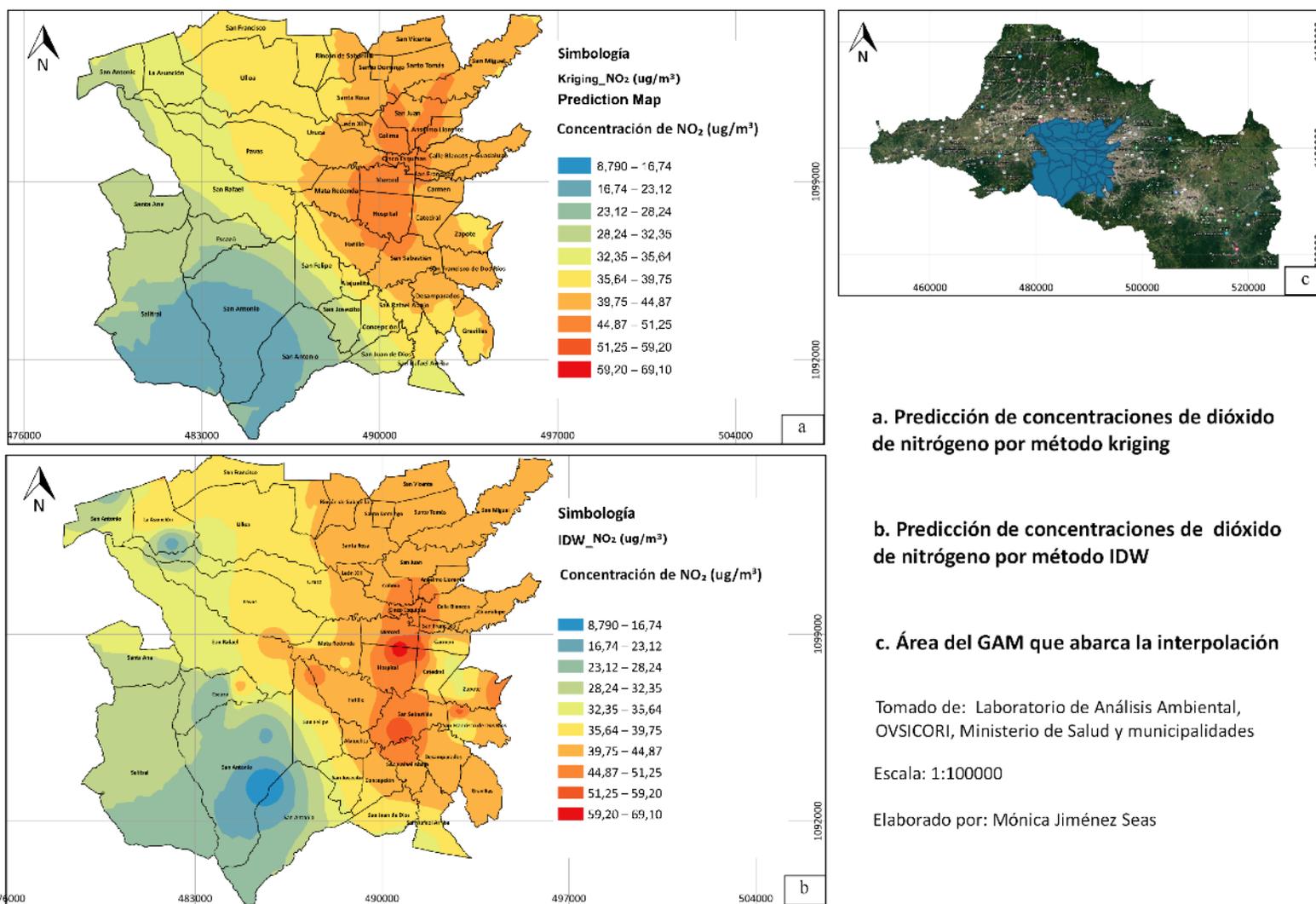
Análisis espacial de los datos

Al considerar que en el GAM los puntos de muestreo son aún escasos se examinó la situación desde una interpolación espacial de las concentraciones del contaminante con la finalidad de generar información aproximada en áreas carentes de datos. Dándole continuidad a la metodología planteada para la construcción de la interpolación, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos obtenidos del proceso de exploración (anexo 9):

- Los valores de la variable no parecen seguir una distribución normal, por lo que fue necesario aplicar una transformación de los datos para reducir los extremos del histograma y acercarlo a la normalidad (se aplicó Box-cox).
- Las muestras son heterogéneas, es decir, se identificaron sectores donde existe aglutinamientos de puntos de muestreo y otras en las que del todo no hay por lo que se limita la interpolación, como resultado el análisis solo abarca un extracto del GAM (figura 4, c).
- No se identifica una tendencia definida de los datos de las variables, tampoco hay una estratificación evidente.

Como resultado del modelado se generaron dos mapeos (uno por método kriging y otro por IDW) para la variable de concentración de NO₂, estas interpolaciones, por la ubicación de los sitios de muestreo, lograron abarcar 44 distritos (citados en el anexo 10). Las cartografías resultantes a grandes rasgos presentan una distribución de las concentraciones similar (Figura 4), se observa que al suroeste en tonalidades azules se ubican los sitios con menores concentraciones, en el centro las concentraciones son intermedias (tonalidades verdosas y amarillas) y el este se presentan los mayores valores de NO₂ (rojos y naranjas).

Figura 4. Mapa de predicción para concentración de NO₂ usando kriging e IDW para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019.



Nota: Los datos utilizados para la interpolaciones corresponden a datos mensuales recolectados en los puntos de muestreo, en la figura se muestra la mediana de los datos por punto de muestreo para el periodo en estudio y otros datos generados por la interpolación.

El mapa de modelado por el método de kriging (figura 4, a) muestra un solo sector donde se alcanzan los valores más altos de contaminación, abarcando 20 distritos y parte de otros 5. En la tonalidad más oscura se encuentran Hospital, Merced, Cinco Esquinas y Colima; rodeado por un tono amarillo que también representa concentraciones elevadas que comprende aproximadamente 6 distritos (San Francisco, Ulloa, Alajuelita, Gravilias y parte de Uruca y Pavas).

Las razones que podrían explicar este comportamiento son: las áreas con mayores concentraciones poseen mayor densidad de edificaciones y vías de tránsito (anexo 11, a, b y c) lo que en teoría evidenciaría mayor concentración y movilización de personas y posiblemente más fuentes móviles de contaminación. La alta presencia de estructuras puede retener los vientos, limitando la dispersión y favoreciendo la acumulación progresiva de contaminantes por los efectos aerodinámicos en algunas de las circulaciones de aire (Camilloni y Vera, 2007).

En este punto es importante destacar que una de las principales fuentes de emisión de NO₂ es la combustión de combustibles fósiles por fuentes fijas o móviles. Según lo esperado, las áreas con mayores concentraciones (tonalidades naranjas) son aquellas en las que hay mayor cantidad de redes viales de alta capacidad (autopistas), incluso una gran parte del área más anaranjada se encuentra circunscrita en la circunvalación (anexo 11, c). Estas redes viales de alto flujo o alta capacidad (anexo 12), aunque son ocupadas por fuentes móviles, suponen una emisión constante.

Asimismo, se observa en el anexo 13 (a) que las mayores temperaturas coinciden con las áreas en las que se identifican mayores concentraciones (naranjas y amarillos), este mismo comportamiento se observa en toda la GAM (anexo 14), lo que resulta en una especie de isla de calor urbana. Las islas de calor urbanas (ICU) hacen referencia a la tendencia de encontrar temperaturas más cálidas en la centralidad de un área urbana en comparación con las áreas circundantes no urbanizadas (Cochran, 2014). Estas generan un sistema circulatorio autocontenido del aire, que solamente puede deshacerlo vientos muy intensos (Camilloni y Vera, 2007).

Lo anterior ocasiona que se produzca un efecto en cadena: la alta presencia de barreras estructurales capaces de contener calor (anexo 11) y las fuentes de calor antropogénicas producto de la dinámica de la ciudad generan una disminución de velocidad del viento, que a su vez aumentan la incapacidad de reducir la ICU, lo que

incrementa la posibilidad de producir una atmósfera estable que limita la capacidad de dispersar los contaminantes vertical y horizontalmente.

La estabilidad de la atmósfera no favorece la producción de corrientes verticales. La inestabilidad (óptimo para la dispersión vertical del contaminante) sucede cuando el aire cercano a la superficie sube y se encuentra bordeado por un aire más frío (más denso por lo que desplaza al caliente) esto hace que ascienda (el aire cercano a la superficie) mediante violentas corrientes verticales (Figueroa y Marino, 2012).

Otro posible factor de relevancia es que en los sitios con menores concentraciones de NO₂ hay una mayor cobertura forestal, por lo que a manera de hipótesis se podría plantear que la presencia de las áreas verdes puede funcionar como un factor que reduce los niveles de exposición (anexo 13, b). Los árboles y la vegetación ayudan a refrescar los climas urbanos mediante la sombra y la evapotranspiración (enfrian el aire), lo que paralelamente reduce los efectos de las ICU (Environmental Protection Agency, 2008).

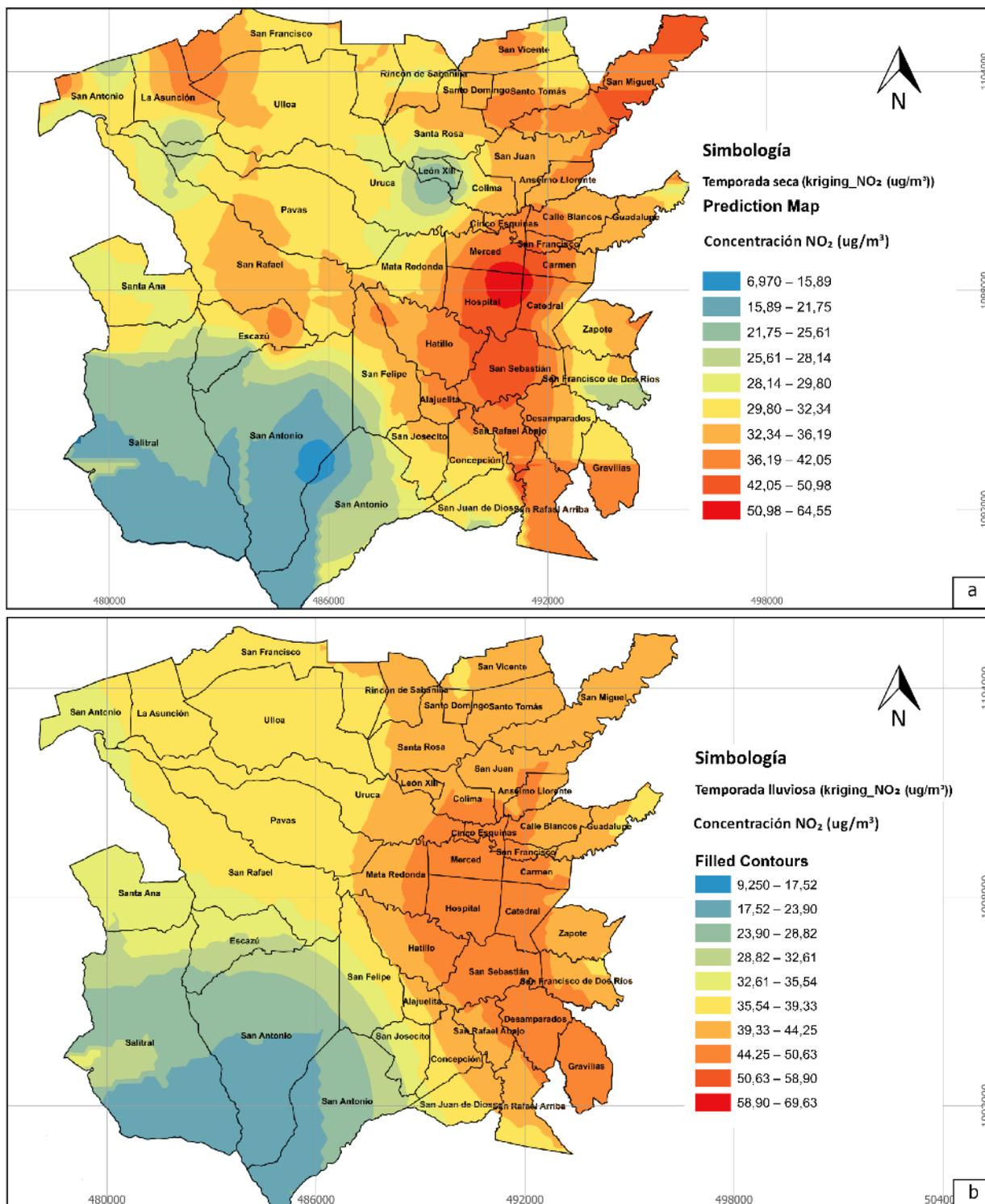
Además, las plantas generalmente absorben los contaminantes gaseosos, principalmente a través de los estomas de las hojas, combinándolos con agua para formar ácidos y otras sustancias que se depositan en los suelos (Environmental Protection Agency, 2008). Los gases descienden por acción de la gravedad, turbulencia de la atmósfera o son absorbidos por la vegetación, incorporándose a otros aspectos ambientales (agua, suelo o biota) en ocasiones sin necesidad de disolverse en gotas de agua (deposición seca) (Figueroa y Marino, 2012).

Por su parte, al analizar el mapa resultante de la interpolación por IDW (Ponderación de distancia inversa), se encuentra una distribución similar a la obtenida por el método kriging. Los tonos azulados y verdosos se mantienen en el oeste, apareciendo además una mancha azul (bajas concentraciones) en La Asunción. No obstante, se observa una intensificación de la tonalidades rojas y naranjas que se extiende ligeramente al sureste (cubriendo algunos distritos que se clasificaron como amarillos en el método kriging como Alajuelita y Gravilias), en consecuencia, se identificó una pequeña expansión de la mancha amarilla la cual incluye parte de La Asunción y de Escazú.

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 (ESRI, 2016b), por consiguiente, se observa una extensión de las manchas alrededor de algunos de los sitios analizados.

Figura 5. Mapa de predicción para concentraciones de NO₂ según la temporada usando kriging para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019.



Dado que en estudios de esta temática se han encontrado variaciones en las concentraciones de contaminantes según las temporadas, se decidió hacer una interpolación para cada temporada de Costa Rica (según la categorización realizada por el IMN para la Región Central), en este caso solamente serían la época seca y la época lluviosa (figura 5, a y b, respectivamente). Como se observa en la figura 5, se encontraron cambios en las interpolaciones según la temporada, en la seca se visualizan puntos de concentración de contaminantes en tonalidades naranjas que en la lluviosa desaparecen (por ejemplo, al noreste: parte de La Asunción, Ulloa y San Francisco; y en el centro parte de San Rafael, Escazú, Pavas y San Felipe).

En la temporada lluviosa (figura 5, b) las concentraciones altas (tonalidades naranjas y rojizas) en el oeste llegan a desaparecer, pero la mancha que abarca gran parte del este se expande, englobando territorios que en la temporada seca se encontraban con menores concentraciones tales como Rincón de Sabanilla, León XIII, Santa Rosa, Colima, Mata Redonda, la Uruca y San Juan de Dios. Cabe destacar que, pese a que las tonalidades naranjas abarcan mayor área en el este, se reduce su concentración (las manchas rojizas de la temporada seca desaparecen en la temporada lluviosa, ver figura 5), no obstante, estas siguen manteniéndose altas (en tonalidades naranjas).

En la figura 5 (a) se observan puntos de acumulación de altas concentraciones de contaminación que pueden deberse a una intensificación de la ICU que interrumpe o debilita el movimiento de los contaminantes. A pesar de ello, en la temporada seca la Región Central es afectada por los vientos alisios provenientes del Pacífico durante todo el día, lo que en teoría facilitaría la dispersión horizontal de los contaminantes (IMN, 2008).

En el inicio de la temporada lluviosa (figura 5, b) se eliminan los puntos de altas concentraciones (manchas rojizas), sin embargo, el patrón naranja al este parece expandirse ligeramente, como se mencionó previamente. Los vientos alisios en esta temporada son de tipo calmo o débiles (Alvarado, 2008), por lo que se observa un leve incremento de la mancha naranja (la dispersión es menor) y el resto de las manchas rojizas desaparecen, lo que puede deberse a una deposición húmeda por la precipitación.

Aunque en la temporada seca se presenten mayor presencia de vientos que contribuyen a la dispersión horizontal y a la deposición seca, la deposición húmeda parece ser más efectiva en gases. Los gases poseen la capacidad de disolverse en gotas de nubes (en función de su solubilidad), así como en gotas de lluvia en el proceso de

caída. Estudios han demostrado que la lluvia tiene la capacidad de eliminar aproximadamente el 50 % del HNO₃ atmosférico en una hora, evidentemente esto dependerá del grado de saturación (solubilidad de equilibrio) de la gota (Figueroa y Marino, 2012).

En las áreas con grandes volúmenes de construcción se genera un efecto obstáculo que lentifica los sistemas meteorológicos, la ICU facilita en ocasiones la convección del aire para dar lugar a la precipitación y los contaminantes se comportan como núcleos de condensación para la formación de gotas de nube (Camilloni y Vera, 2007). En la temporada lluviosa parece haber mayor disolución, reacciones químicas (por la formación de HNO₃ a partir del NO₂) y mezclado de los gases que son arrastrados varios kilómetros antes de precipitar (deposición vía húmeda).

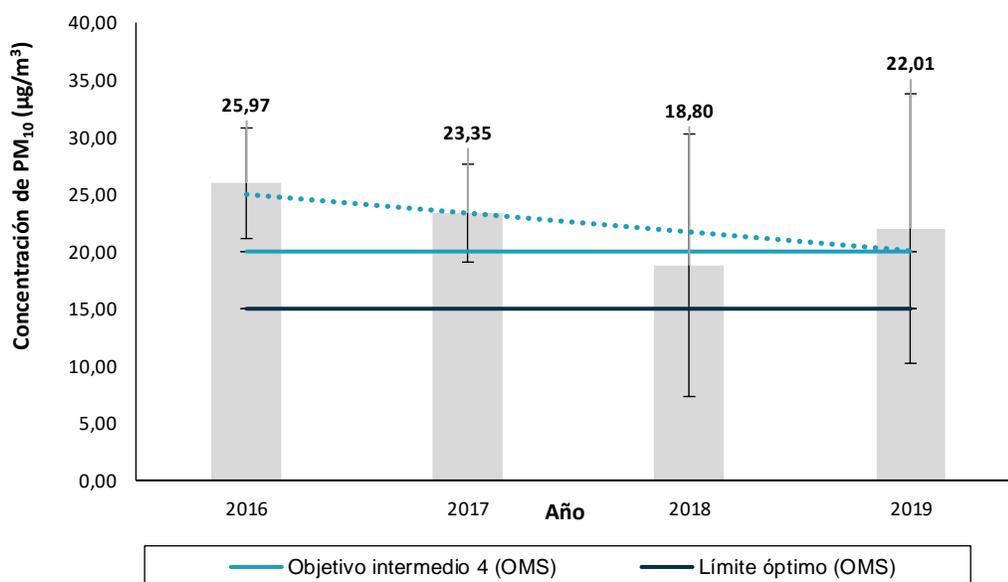
Adicionalmente, las áreas en las que hay mayor concentración de NO₂ existen menores niveles de precipitación (anexo 13, c) en comparación con las áreas en las que hay mayor vegetación y menores concentraciones de contaminante por lo que en contraste podría haber una deposición húmeda menor.

4.1.2.2. Material particulado (PM₁₀)

Los datos analizados provienen de 10 estaciones (manuales y automáticas) que detectan concentraciones de material particulado en el aire y que forman parte de la red de monitorio de calidad del aire. Están distribuidas en el cantón de San José (4 estaciones), Belén, Coronado, Escazú, Alajuela, Heredia y Cartago (una estación por cantón).

Al observar el comportamiento por promedios anuales, se encuentra que no se da un incumplimiento del límite establecido en la normativa nacional (40 µg/m³). La tendencia de los datos a través del tiempo parece descender ligeramente en el periodo de estudio. En el gráfico 11 se evidencia que los valores se encuentran cercanos al último objetivo intermedio de la OMS, no obstante, solamente se logra en el año 2018.

Gráfico 11. Promedio de concentraciones anuales de material particulado (PM₁₀) en el GAM, para los años del 2016 al 2019



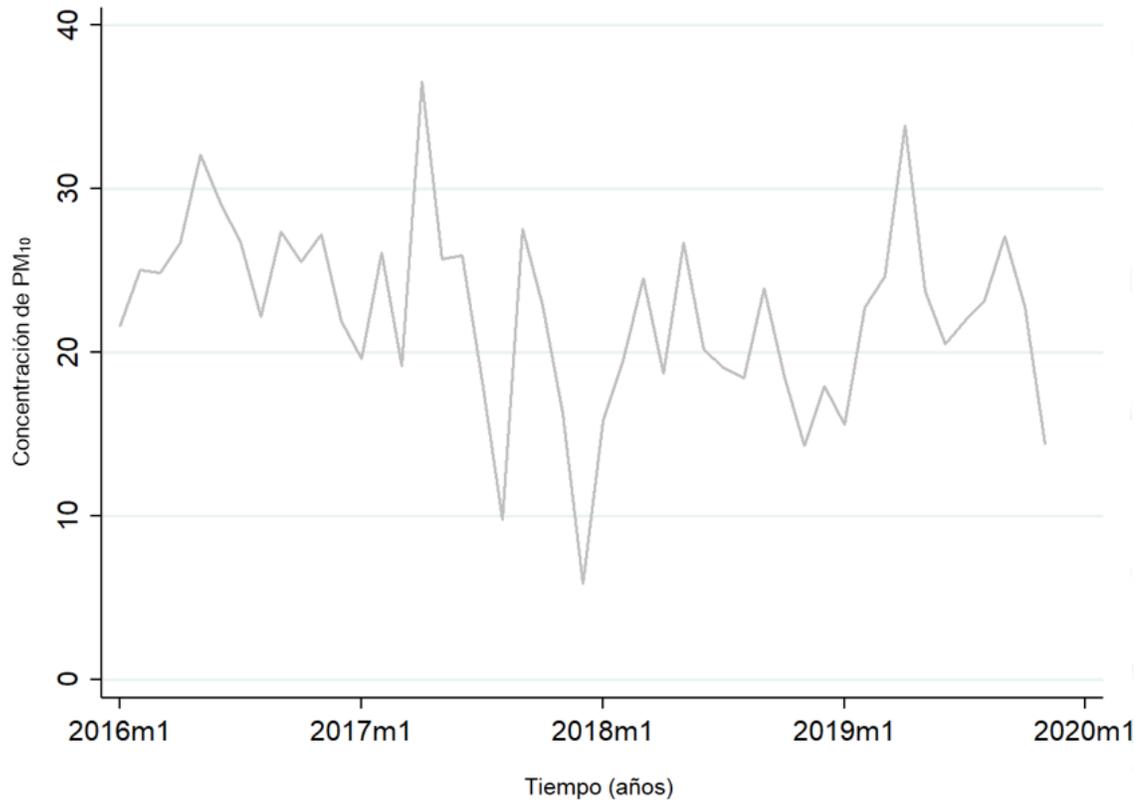
Nota: datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

Las concentraciones de este contaminante, según los datos disponibles facilitados para la realización de esta investigación, cumplen con el objetivo intermedio anual 3 de la OMS (30 µg/m³), el objetivo intermedio anual 4 (20 µg/m³) sería la próxima meta por cumplir para GAM, con la finalidad de alcanzar las concentraciones óptimas (15 µg/m³) para la protección de la salud de la población.

En el gráfico 12 se muestra la tendencia de las concentraciones por unidad de tiempo mensual, la mayoría de los valores mensuales se encuentran por encima de 20 µg/m³, asimismo se identifica que los valores más altos aparecen en los meses de abril, mayo y junio, una vez pasados estos meses vuelven a descender levemente y se mantiene una concentración más constante, ese aumento repentino puede estar relacionado con la entrada de la temporada lluviosa (lo cual se refuerza más adelante en el análisis espacial). Cabe aclarar que, los dos descensos abruptos dados en el 2017 y en el 2018 se deben a la carencia de datos en esos meses.

Gráfico 12. Tendencia de la concentración mensual promedio de PM₁₀ (µg/m³) en el GAM para el periodo del 2016 al 2019



Nota¹: El m1 en el eje de las abscisas se refiere al mes 1 de cada año de estudio.

Nota²: datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

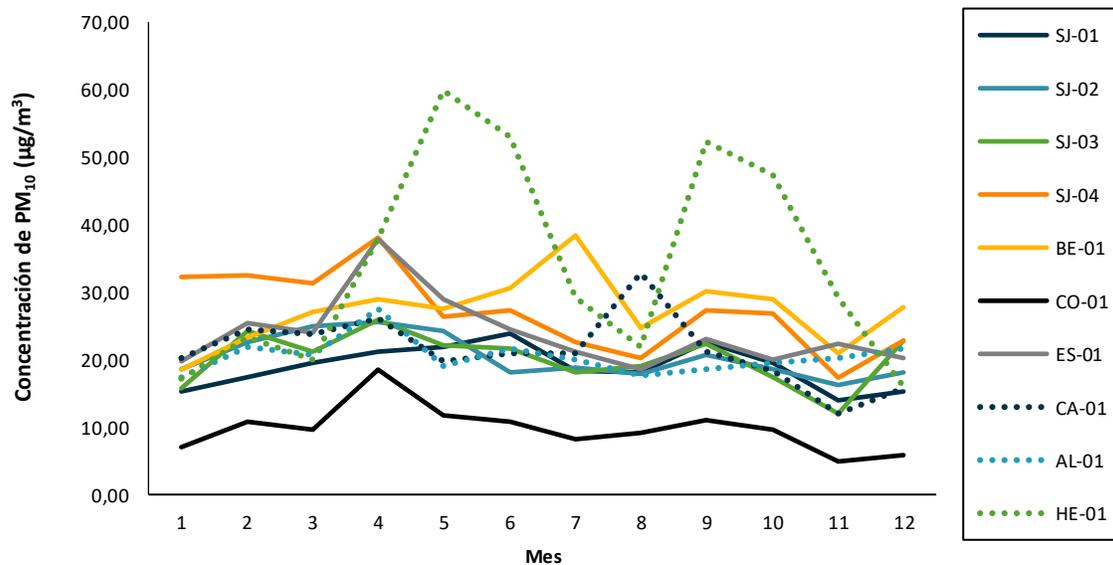
Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

El comportamiento mensual también puede ser analizado en el gráfico 13, en el que se observa un promedio mensual de los 4 años de estudio por estación. En este caso, el mes con mayores concentraciones de contaminantes para el periodo (2016 al 2019) en todas las estaciones, exceptuando 3 (SJ-01, BE-01 y HE-01), fue abril. El cual representa un mes de transición de temporada seca a lluviosa, por lo que ocurren cambios en las velocidades y las direcciones del viento, la precipitación y otras variables que pueden interferir en la dispersión.

Por otro lado, el mes con menores valores fue noviembre, con excepción de 4 estaciones (BE-01, AL-01, HE-01 y ES-01) que poseen los valores menos elevados en

enero y diciembre. Noviembre también corresponde a un mes de transición, pero en este caso de temporada lluviosa a seca, por lo que resulta lógico que las concentraciones desciendan.

Gráfico 13. Segmentación temporal del promedio mensual del contaminante PM₁₀ en función de las estaciones en la GAM considerando el periodo del 2016 al 2019

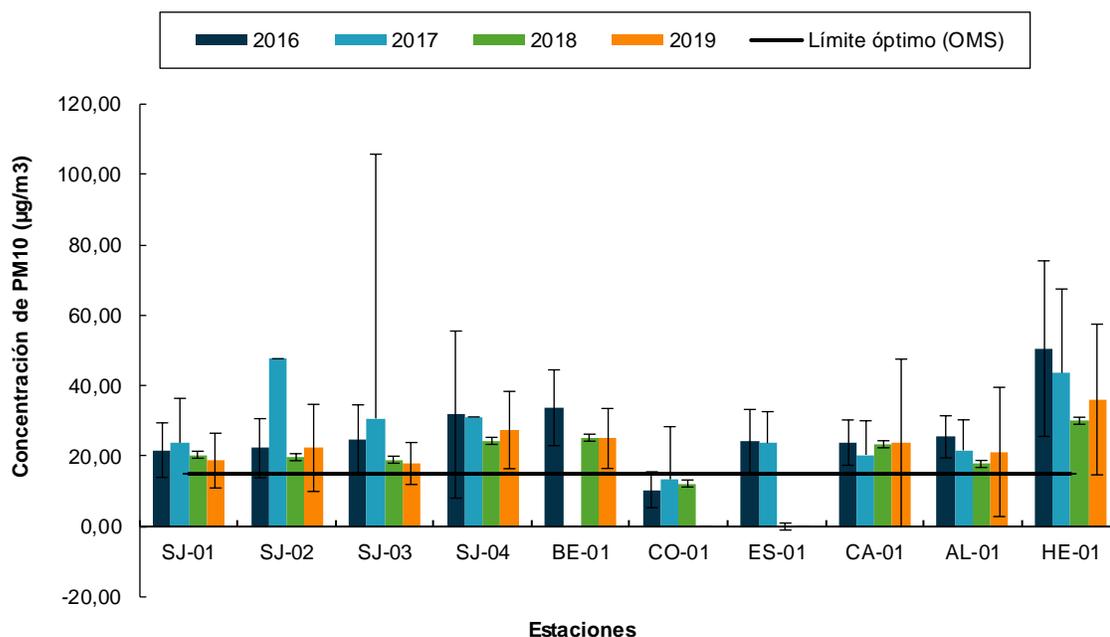


Nota: promedio mensual obtenido a partir de datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

Para los 4 años estudiados, un 60 % de las estaciones de calidad de aire experimentaron un descenso en las concentraciones a través del tiempo, mientras que el resto parece tener un comportamiento indefinido (SJ-02, ES-01 y CO-01) o se mantiene (CA-01). Solamente los datos de la estación de Coronado cumplen con el límite óptimo anual de la OMS (15 µg/m³), todas las estaciones cumplen con el objetivo intermedio anual 1 ya que ningún punto de muestreo se acerca a los 70 µg/m³, el objetivo intermedio anual 2 (50 µg/m³) solamente es incumplido por la estación ubicada en Heredia (HE-01) en el 2016 (gráfico 14).

Gráfico 14. Evolución multianual promedio de concentraciones anuales de PM₁₀ de las estaciones ubicadas en el GAM para el periodo 2016 al 2019



Nota¹: promedio mensual obtenido a partir de datos provenientes de todas las estaciones de monitoreo presentes en el GAM

Nota²: no se incluyeron los outliers de la estación SJ-04 (241,42) y de VE-01 (9962,67) en el gráfico.

Fuente: elaboración propia con datos suministrados por el LAA, 2022.

Análisis espacial de los datos

Al igual que con el contaminante NO₂, se interpolaron los datos de las estaciones de PM₁₀ con el objetivo de estimar y modelar la posible exposición a material particulado en algunos distritos de la GAM, utilizando los datos disponibles entregados por las instituciones públicas. Se tomaron en cuenta los aspectos resultantes de la fase de exploración de los datos (anexo 15), entre ellos se consideró que:

- Los datos no siguen una tendencia normal por lo que fue necesario aplicar una transformación (Box-Cox) para acercar la curva a la normalidad.
- Las muestras son de carácter heterogéneo, se evidencian áreas con datos escasos que a futuro deben reforzarse con mayores sitios de muestreo.
- Los datos no muestran una tendencia definida.

En la figura 6 se refleja el resultado de la interpolación efectuada. Debido a la dispersión de las estaciones estas englobaron más territorios en comparación con los resultados de la interpolación de NO_2 , por lo que se estimaron las concentraciones de más distritos de la GAM, el alcance de esta interpolación fue mayor (figura 6, c).

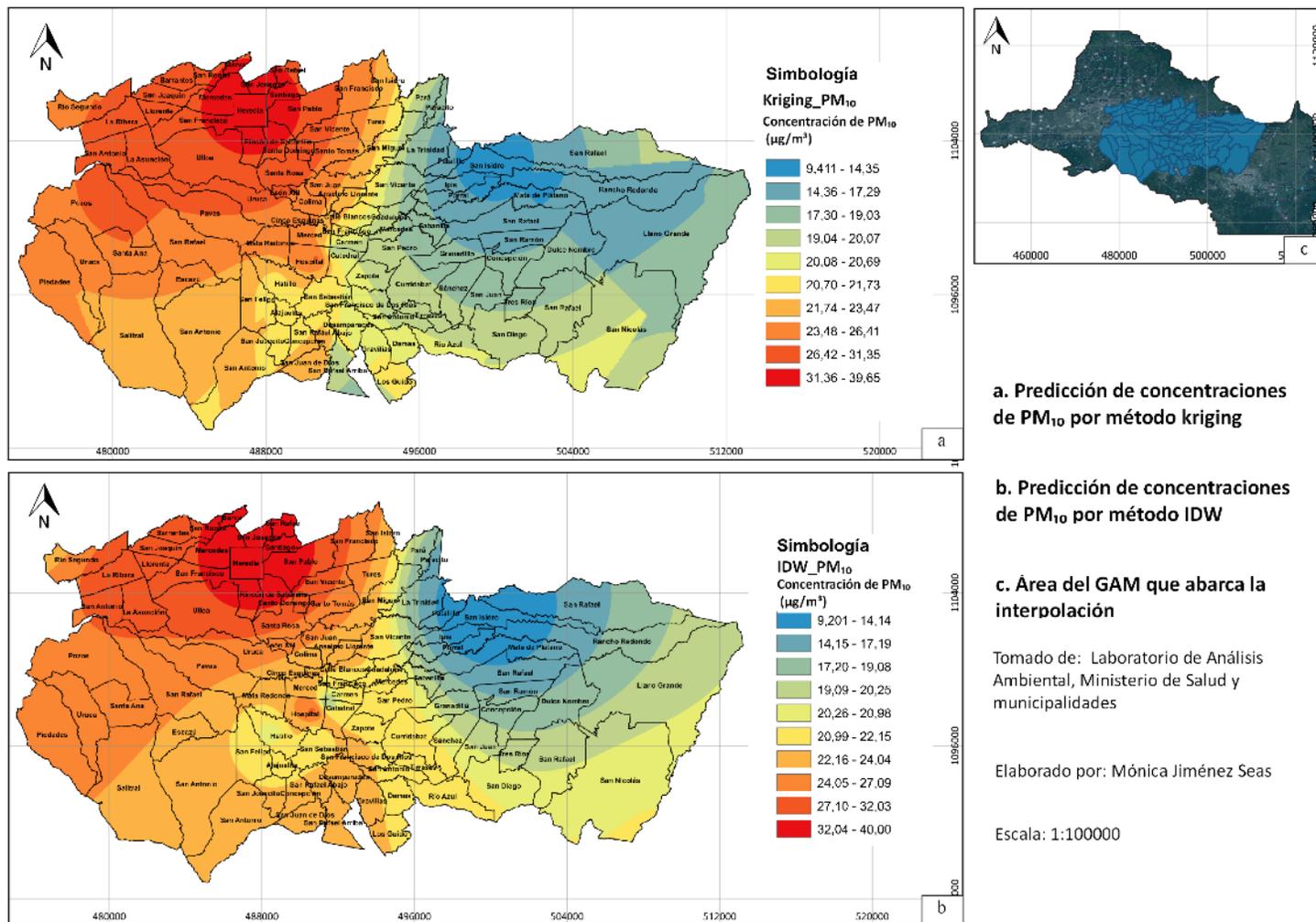
Las interpolaciones abarcaron un total de 95 distritos (citados en el anexo 16). Los mapas resultantes de las concentraciones de PM_{10} reflejan a nivel general una distribución espacial de la concentración de contaminantes muy similar entre sí, indiferentemente del método (kriging e IDW), las tonalidades ocupan en mayor o menor medida las mismas localidades, los niveles más altos se ubican al oeste del territorio, con mayor intensidad en el noroeste. Las zonas con concentraciones más bajas se ubican al este, donde se encontraron valores aún más bajos en los territorios del noreste.

No obstante, si se observan los modelos con mayor detalle, se identifican algunos pequeños cambios, como por ejemplo en el mapa con el método IDW se presentan manchas azules (menores concentraciones) en Hatillo y en el Carmen que no aparecen en el mapa del método kriging. Esta situación se podría deber a que, posiblemente estas fueron suavizadas al estar rodeadas por estaciones con valores más altos (en el caso de Hatillo) y en el caso de Carmen toma un valor intermedio al estar en el centro de estaciones con valores contrarios.

Asimismo, hay algunas variaciones en el diámetro que toman las estimaciones de las concentraciones, se puede ver como las manchas amarillas (concentraciones intermedias) en el mapa de predicción de IDW son más prominentes reduciendo en consecuencia el tamaño de las manchas verdosas o azuladas (bajas concentraciones). El área con mayores valores (rojo más oscuro) incluye 5 distritos (Heredia, Santiago, San Josecito, San Rafael y Barva) y parte de otros 4 (San Pablo, Rincón de Sabanilla, Mercedes y San Roque), en tonalidades naranjas se encuentran alrededor de 42 territorios y las manchas amarillas circunscriben 13, así como parte de 3 distritos.

Al igual que con el NO_2 , las áreas con altas temperaturas llegan a ser coincidentes con las altas concentraciones de PM_{10} , asimismo las áreas con mayores temperaturas concuerdan con los espacios caracterizados por tener mayor cantidad de construcciones (mayores núcleos urbanos) (anexo 17, a). Al observar de oeste a este en el anexo 18 (a) las temperaturas descienden, comportamiento similar al de las concentraciones por PM_{10} (a mayor temperatura, menor dispersión vertical) (figura 6).

Figura 6. Mapa de predicción para concentración de PM₁₀ usando kriging e IDW para algunos distritos del GAM, del 2016 al



2019.

Nota: Los datos utilizados para la interpolaciones corresponden a datos mensuales recolectados en los puntos de muestreo, en la figura se muestra la mediana de los datos por punto de muestreo para el periodo en estudio y *otros datos generados por la interpolación*

En el anexo 17 (a) se puede distinguir como en el área ubicada al este hay menos acumulación de edificaciones en comparación con el resto de los territorios estudiados y parece haber a su vez menores concentraciones de PM_{10} . Sin embargo, en el suroeste se encuentra un espacio con menor densidad de edificaciones y con concentraciones de contaminante elevadas (Salitral, San Antonio de Escazú y San Antonio de Alajuelita), esto puede deberse al modelo de interpolación como tal, ya que al no existir estaciones en el área toma los valores de los puntos de muestreo más cercanas los cuales poseen valores altos. No obstante, es necesario reforzar con mediciones en esta zona para conocer la situación real ya que pueden existir otras razones relacionadas a la dinámica atmosférica y dispersión de los contaminantes que generen que estas áreas con menor cantidad de fuentes de emisión presenten niveles de exposición importantes.

El mayor punto de concentración de contaminantes se localiza en Heredia, lo que puede deberse a que la estación de monitoreo se ubica en una zona comercial con un alto tráfico vehicular, además, que es solamente una estación de monitoreo ubicada en la zona de entrada al cantón central, lo cual tiene alto tráfico vehicular cada día. A pesar que la GAM es una zona urbana por excelencia, se encuentran espacios en los que la red vial no es tan densa (el este en comparación con el oeste), por lo que puede significar un menor número de fuentes móviles transitando, estas áreas parecen tener también menores concentraciones (anexo 15, c).

No obstante, la relación entre la dispersión del contaminante PM_{10} y las autopistas no es tan clara como en el caso de NO_2 , ya que se encontraron espacios con alta densidad de vías y no son necesariamente los puntos de mayor contaminación (por ejemplo, Catedral, Carmen, San Pedro, Hatillo, San Sebastián, Mercedes, entre otros). Así como puntos en los que se presenta muy poca densidad de vías y tiene concentraciones altas (Salitral, San Antonio de Escazú y San Antonio de Alajuelita). Este comportamiento podría precisarse con una mayor cantidad de medidores o estaciones, que acerquen las estimaciones lo más posible a la realidad, sin la necesidad de que el programa se sobre esfuerce en estimar puntos con estaciones muy lejanas entre sí.

Las fuentes del material particulado son variadas, no se limita a la combustión en las ciudades, sino que existe una diversidad de ellas, como la combustión de biomasa, fricción de los vehículos, incendios forestales, erosión de los suelos, erupciones volcánicas (cenizas), polen, así como tormentas de polvo en desiertos que en ocasiones se dispersan hacia escalas regionales o globales (Koren, 2017) (Oighenstein, 2017). Estas son variables que deben estudiarse para conocer la influencia de las fuentes en el

comportamiento del contaminante en Costa Rica y la GAM, así como la relación con la salud de la población. Esto representa una oportunidad para continuar la línea de trabajo iniciada con esta investigación.

Además, nuevamente los espacios con mayor cobertura forestal presentan menores valores de contaminación, con excepción del área del suroeste ya mencionada, situación que puede deberse a la falta de valores en ese punto específico. En el caso de las partículas, la vegetación funciona como un obstáculo que intercepta el contaminante al entrar en contacto con ella (Environmental Protection Agency, 2008).

En ocasiones el material particulado tiene la capacidad de ser absorbido por la vegetación, aunque la mayoría de las veces son retenidas en la estructura de la planta. Cuando la partícula entra en contacto con la estructura vegetal es re suspendida por el viento y precipita en el suelo por lo que la cobertura vegetal funciona como un sitio de retención (Nowak, 2002). Asimismo, la rugosidad aumenta la probabilidad de deposición seca del contaminante, por lo que la vegetación de mayor tamaño (bosques más longevos) es la más efectiva pues genera una serie de filtros (troncos, ramas, hojas) que interceptan las partículas (Figueruelo y Marino, 2012) (Nowak, 2002).

Las variables meteorológicas son determinantes de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera, por lo que el comportamiento del ciclo anual de los elementos climáticos es de relevancia. En cuanto a las temporadas, se observa que las concentraciones se elevan notablemente en la temporada lluviosa, incluso en la temporada seca los puntos con las concentraciones más altas (tonalidades rojas) llegan a desaparecer casi por completo (Figura 7). Este mismo comportamiento se ha evidenciado en otros estudios que concluyen que la relación entre PM_{10} y la precipitación es lineal positiva, es decir, con el incremento de los niveles de precipitación se da el aumento de las concentraciones de PM_{10} (Miranda y Ortiz, 2008) (Arrieta, 2016).

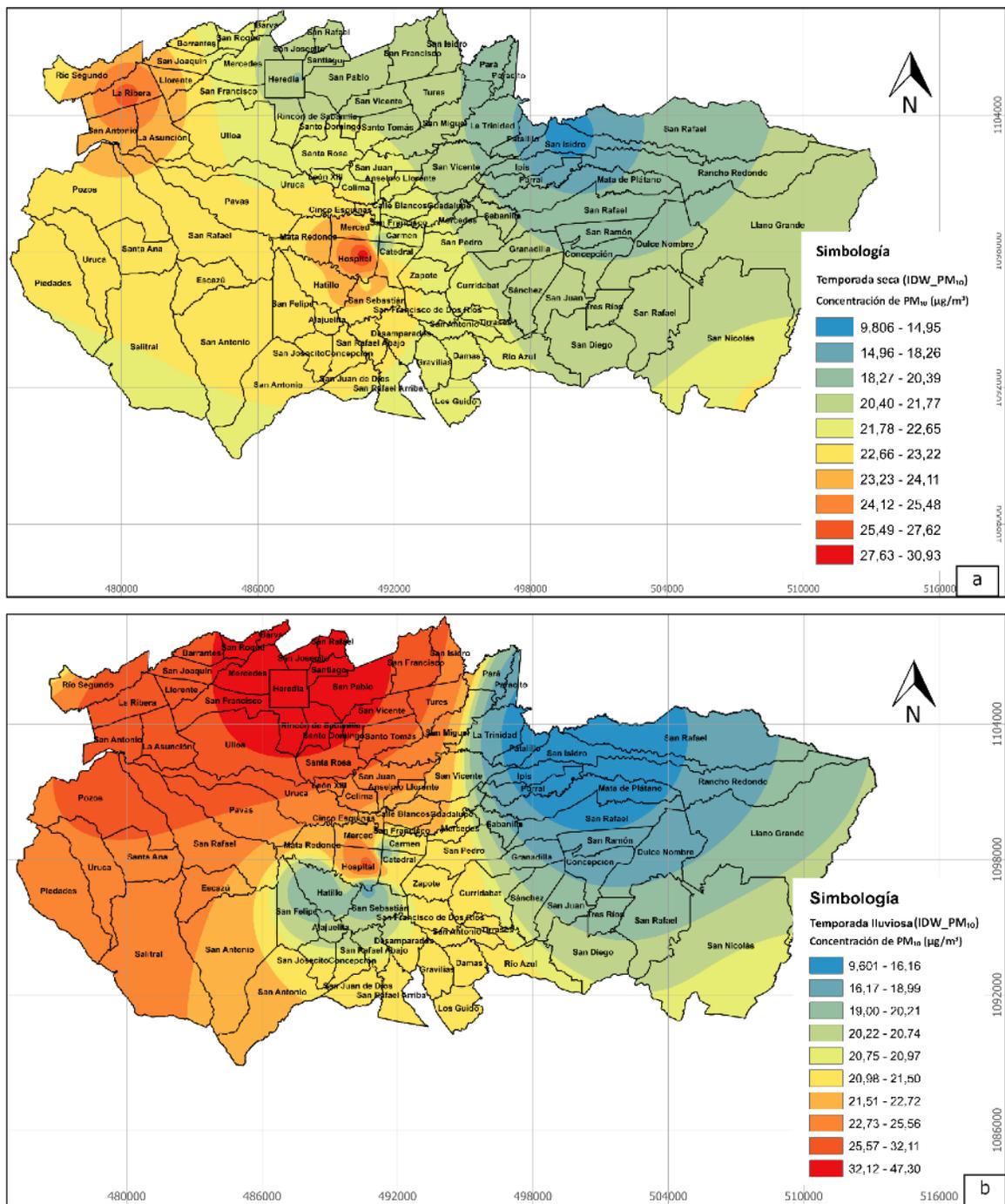
Los procesos de deposición del material particulado tienden a ser más complejos porque dependen en gran medida del tamaño de la partícula. Las partículas más grandes (mayores a $2 \mu m$) suelen precipitar por la sedimentación gravitacional dada por la turbulencia en la atmósfera, las cuales por su impulso no son desviadas por los choques con las moléculas del aire y llegan a la superficie (Figueruelo y Marino, 2012).

Por su parte, las partículas más pequeñas (menores a $2 \mu m$) al ser más ligeras son afectadas por la colisión con el resto de las moléculas, de modo que por el choque llegan a la superficie (difusión browniana). Para las de tamaño intermedio, ninguno de los dos métodos anteriormente mencionados es suficiente por lo que permanecen

suspendidas mayor tiempo en la atmósfera (Figueruelo y Marino, 2012). Los vientos alisios presentes en la temporada seca favorecen el choque o la colisión de partículas por lo que, en teoría, facilita el descenso a la superficie, esta puede ser una posible explicación de la reducción observada en la temporada seca.

Las partículas también pueden descender por deposición húmeda, incluso poseen la capacidad de desaparecer dentro de las nubes al actuar como núcleos de condensación, por lo que quedan dentro de gotas que al colisionar con otras puede eliminarlas de la atmósfera (Figueruelo y Marino, 2012). A pesar de ello, en este caso y en el de otros estudios, la precipitación no parece tener un efecto positivo en la reducción de la concentración de partículas (Arrieta, 2016).

Figura 7. Mapa de predicción para concentraciones de PM₁₀ según la temporada, usando IDW para algunos distritos del GAM, del 2016 al 2019



Tomado de: Laboratorio de Análisis Ambiental,
 Ministerio de Salud y municipalidades

Escala: 1:100000

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

Observación espacial de los niveles de exposición a contaminantes y distribución de los eventos en salud

El primer capítulo brindó un panorama general de la distribución de los eventos de depresión, suicidio e intento de suicidio de forma individual. De igual manera, permitió identificar las áreas con mayores concentraciones de contaminantes según las interpolaciones realizadas. Lo anterior facilitó la clasificación de los distritos por zonas de exposición, los límites para la categorización se definieron utilizando como base los límites óptimos e intermedios establecidos por la Organización Mundial de la Salud en el 2020 para los contaminantes criterio (tabla 2). A partir de lo mencionado se obtuvieron los siguientes resultados:

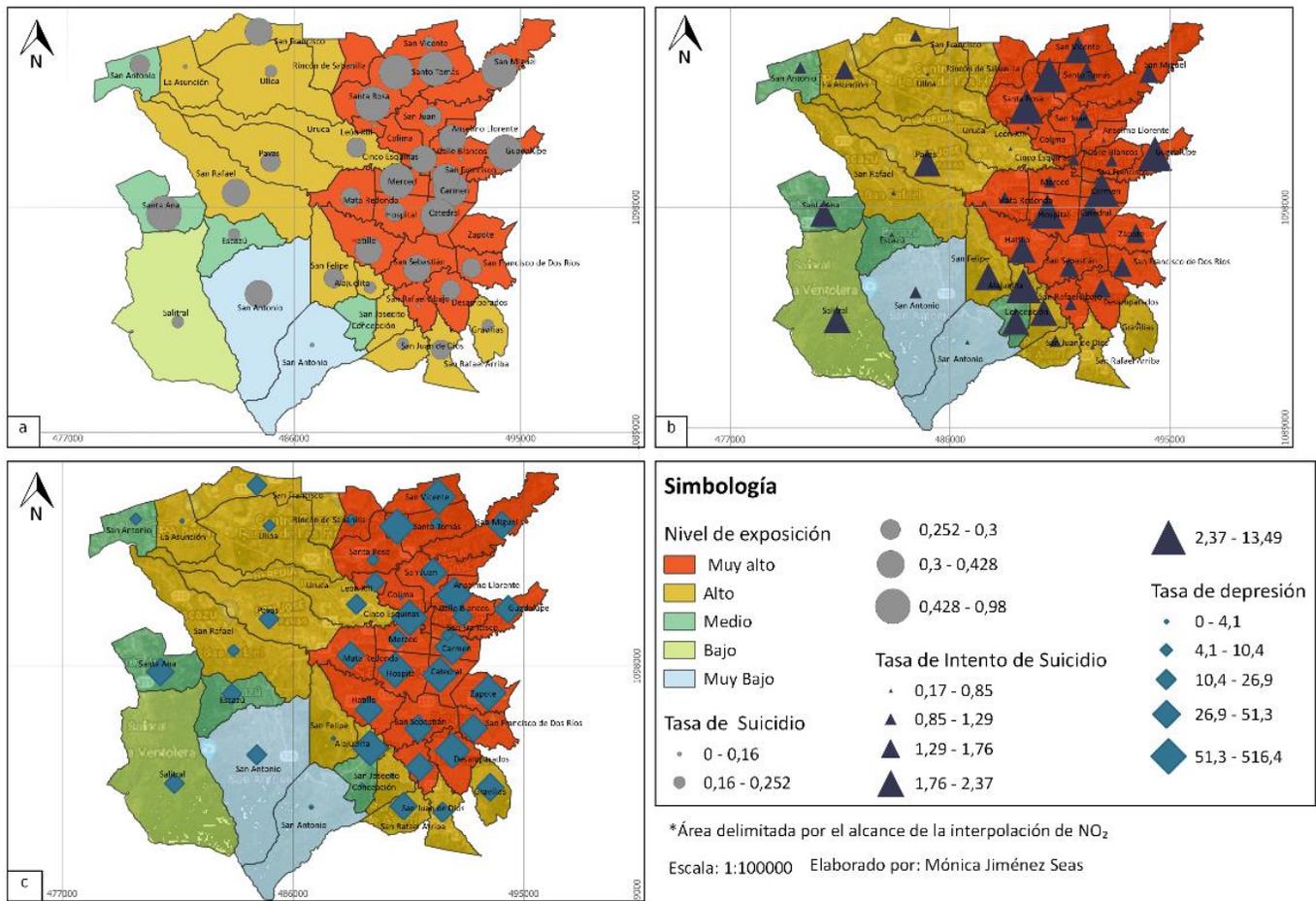
Para el dióxido de nitrógeno, considerando los 44 distritos abarcados por la interpolación, se obtuvo que el 59 % de las unidades de estudio se clasificaron con un nivel de exposición al contaminante muy alto, un 25 % alto, un 9 % medio, 1 % bajo y un 2 % de los distritos muy bajo (anexo 19). Las mayores concentraciones se acumulan en el este del área estudiada como se había mencionado.

En la figura 8 se puede apreciar la distribución de las áreas por nivel de exposición, así como cada uno de los trastornos representados por una figura geométrica. Cada figura (círculo, triángulo, rombo) representa la tasa de mortalidad o la tasa de incidencia (según corresponda) de cada distrito, el tamaño de la figura especifica la magnitud del indicador, es decir, a mayor tamaño, mayor tasa de incidencia o mortalidad.

Se evidencia que en los tres eventos las figuras geométricas con mayor tamaño se encuentran principalmente en las zona clasificada como muy alta exposición (distritos naranjas). A pesar de ello, se hayan algunos distritos con altas concentraciones y bajas tasas y viceversa, distritos con bajas concentraciones y altas tasas.

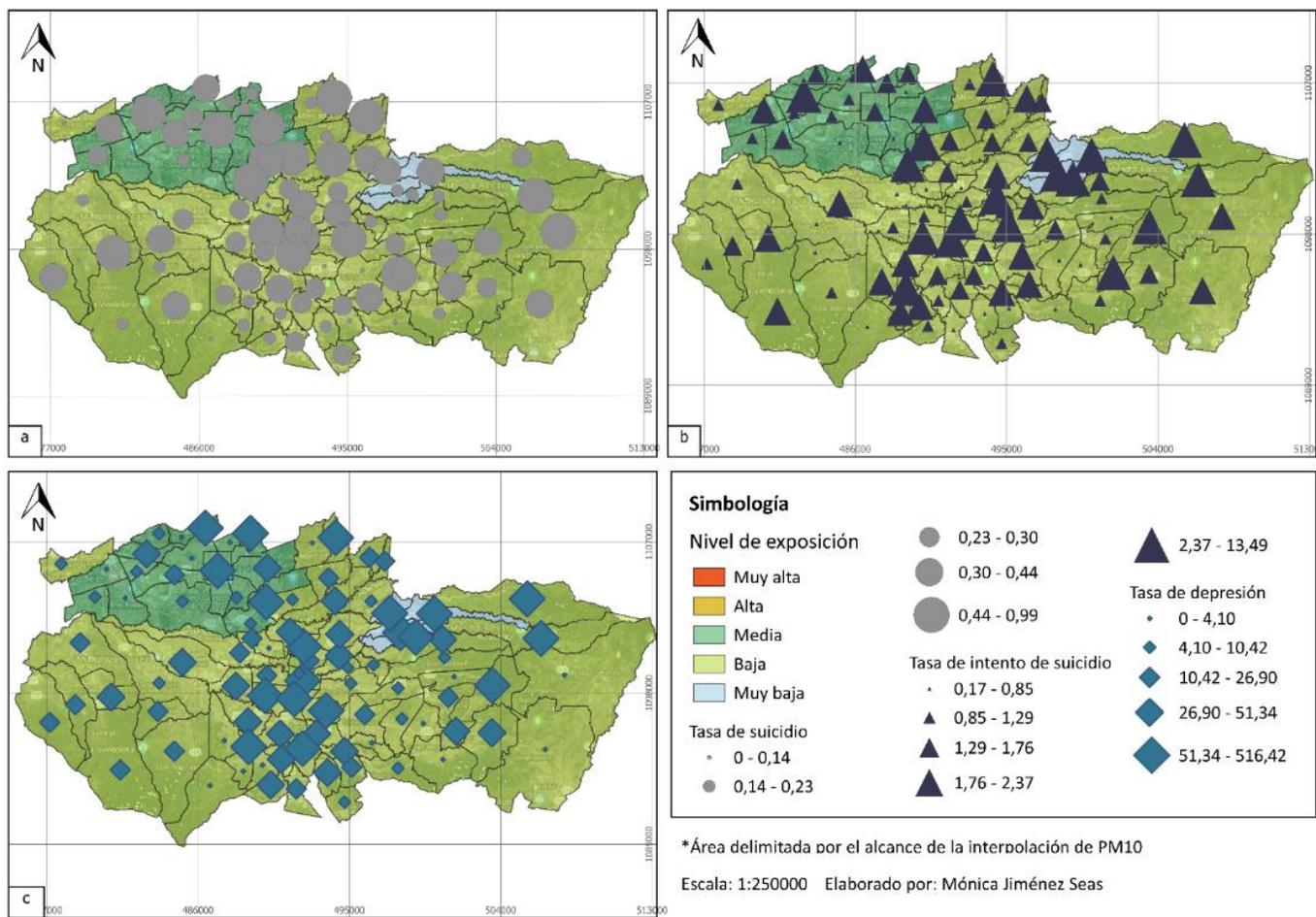
No obstante, es posible distinguir una mayor densidad de eventos en el este del mapa, en comparación con el oeste, mismo comportamiento que el del contaminante (figura 8). La aparición de elevadas tasas en otros sectores con menores concentraciones puede darse por otros factores de índole socioeconómico que no han sido contemplados en este estudio, pese a ello, no se desprecia como un factor de riesgo de relevancia para los eventos analizados.

Figura 8. Zonas de exposición a dióxido de nitrógeno (NO₂), tasa de mortalidad de suicidio y tasas de incidencia de depresión e intento de suicidio para el periodo del 2016 al 2019



En cuanto al material particulado (PM₁₀) la clasificación de los 95 distritos según nivel de exposición se distribuyó de la siguiente manera: un 75 % se clasificó como bajo, un 21 % como medio, un 4 % como muy bajo y ninguno de los distritos se encontró en la categoría alto o muy alto (anexo 19).

Figura 9. Zonas de exposición de Material Particulado (PM₁₀), tasa de mortalidad de suicidio y tasas de incidencia de depresión e intento de suicidio para el periodo del 2016 al 2019



En este caso los distritos con mayores tasas parecen concentrarse en el centro del mapa de la figura 9, asimismo, se hayan altos indicadores de salud incluso en zonas con “muy bajas” exposiciones. Por lo anterior, a nivel general no parece haber coincidencias espaciales entre ningún trastorno con este contaminante en específico (PM₁₀).

A modo de síntesis del primer apartado se expone que, ninguno de los contaminantes incumple con la normativa nacional, pero es necesario mencionar que estos límites son mucho mayores a los recomendados por los organismos internacionales. En ambos casos se incumple con los límites óptimos establecidos por la OMS, no obstante, el contaminante más cercano al cumplimiento es PM₁₀, alcanzando ya el objetivo intermedio 1, 2 y 3 (con excepción de una estación); para dióxido de nitrógeno

existe un mayor reto, ya que solamente en algunas estaciones se cumple con el objetivo intermedio 1 (el más lejano al límite ideal).

El comportamiento de las concentraciones en los años de estudio ha demostrado que en la GAM los niveles de PM_{10} han descendido ligeramente, para NO_2 se ha mantenido más bien estable, sin ningún cambio significativo que evidencie un aumento o una disminución. Por otro lado, los trastornos si poseen una tendencia más marcada (con excepción del suicidio), en el caso de los intentos de suicidio se evidencia el crecimiento de los eventos a través del tiempo, contrario a la depresión que desciende conforme avanza el periodo en estudio (2016-2019).

Los trastornos estudiados poseen un comportamiento diferenciado, es decir, afectan diferentes poblaciones en cuanto a sexo y edad, evidenciando que algunos eventos aumentan con el crecimiento de la población (depresión) y otros descienden una vez superada la adultez (suicidio e intento de suicidio). En general, entre un 31% y un 48% de los distritos del GAM sobrepasan las tasas nacionales de los trastornos en estudio para ese periodo, el porcentaje varía según el evento.

Espacialmente, solo la depresión posee suficiente evidencia estadística para determinar la existencia de clúster, en cuanto a la variable independiente únicamente se observa un comportamiento no aleatorio en el contaminante NO_2 . Al considerar los ciclos anuales del clima, se identifica una diferencia en la concentración según la temporada, para NO_2 en la temporada lluviosa se reducen los niveles observados y para PM_{10} es más bien la temporada seca en la que puntos con las concentraciones más altas llegan a desaparecer casi por completo.

Asimismo, las variables ambientales antropogénicas y climatológicas parecen tener un papel importante en la dispersión y deposición de las concentraciones de contaminantes. En ese sentido, es necesario generar estudios específicos para conocer el nivel de correlación estadística con las variables en mención y el comportamiento del contaminante en el aire.

Espacialmente no parecen haber muchas coincidencias con la ubicación de la contaminación de PM_{10} y los trastornos, caso contrario de los observado con NO_2 .

4.2. Análisis del riesgo de sufrir los trastornos en estudio (suicidio, intento de suicidio y depresión) por la exposición a la contaminación del aire

El propósito del presente apartado es conocer el comportamiento del riesgo de presentar los trastornos en estudio por el grado de exposición a agentes contaminantes del aire (NO_2 y PM_{10}) para el periodo del 2016 al 2019. Con la finalidad de comprender la importancia que desempeña el ambiente o no, como determinante de la salud mental-enfermedad como posible factor de riesgo.

Para ello, se utilizará la distribución que dio como resultado el análisis espacial de los indicadores de salud por distrito, calculados en el capítulo anterior para cada trastorno, junto con todas las áreas de exposición a NO_2 y PM_{10} definidas a partir de las interpolaciones y la tabla 2. Esto permitió evidenciar si había coincidencias espaciales entre las variables.

Se inicia generando un análisis del riesgo de padecer los trastornos asociados a niveles de exposición a contaminación del aire, por lo que se calculan nuevamente algunos indicadores de salud (tasas de mortalidad e incidencia crudas y ajustadas, razón de tasas y el valor de p), no presentados por distritos, si no por zonas de exposición, lo que establece las bases para la formulación de una hipótesis.

Asimismo, se estudiaron temporalmente (en años y temporadas) las tasas brutas de los trastornos por niveles de exposición, con la finalidad de comparar los resultados con el comportamiento de los contaminantes del aire, esto permitió observar si los eventos siguen los patrones temporales de las concentraciones del dióxido de nitrógeno y del material particulado.

Finalmente, se aplicó un modelo que permitió determinar la existencia o no de una relación entre las variables independientes y las variables respuesta. Se seleccionó el modelo de regresión binomial negativa robusta, debido a que era el que más se ajustaba a los datos.

Probabilidad de padecer los trastornos en estudio por nivel de exposición a contaminantes NO₂ y PM₁₀ en el periodo 2016-2019

La cuantificación de los eventos y el riesgo son componentes indispensables para formular una hipótesis, así como observar y comparar indicadores de los padecimientos o enfermedades entre poblaciones de interés (Fernández, et al., 2018). Los elementos mencionados son fundamentales para el estudio de la distribución de las afectaciones a la salud y sus determinantes, los cuales a su vez se han convertido en bases de importancia para el accionar en salud pública y ambiental.

En el presente apartado se muestran las tasas ajustadas por edad y sexo por zona de exposición a NO₂ y PM₁₀, así como la razón de tasas estandarizadas calculada a partir del ajuste por medio de método directo. Las tasas ajustadas son una medida resumen de los valores de tasas para un evento específico en los estratos poblacionales (edad, sexo) que pueden sobreestimar o subestimar un indicador (Moreno et al., 2000).

Lo anterior permite homogenizar los grupos y compararlos, controlando los factores confusores (edad). Por su parte, la razón de tasas expresa la relación aritmética que existe por una misma variable (Moreno et al., 2000). En otras palabras, la razón expresa la magnitud con la que se presenta un evento en una población en comparación a otras, en este caso la población dividida por grupos de exposición.

Asimismo, se analiza el valor de p obtenido a partir de una prueba de chi-cuadrado para la comparación de proporciones para reconocer si existe diferencia en el comportamiento de las tasas crudas, esta prueba fue aplicada a la proporción observada (tasas) de cada uno de los niveles de exposición. Los resultados se irán presentando por evento en salud y su comportamiento según el nivel de exposición a cada uno de los contaminantes.

4.2.1.1. Suicidio

En síntesis, el suicidio ha presentado una tendencia temporal indefinida en el periodo de estudio (2016-2019) y un 47 % de los distritos del GAM mostraron una tasa de mortalidad que superó la tasa nacional (0,29 por 1 000 habitantes). Asimismo, del cuadro 4, que evidencia los distritos con mayores tasas de toda la GAM, solamente en los siguientes se lograron estimar las concentraciones de NO₂: Carmen, Catedral, Santa

Rosa y Santa Ana. De los cuales, los primeros 3 (Carmen, Catedral y Santa Rosa) se ubican en un nivel de exposición a NO₂ muy alto y Santa Ana en un nivel “medio”.

Ahora bien, si se analiza el área que abarca la interpolación de NO₂ (44 distritos) se encuentra que un 43 % de ellos presentan una tasa mayor a la nacional, los territorios (abarcados por la interpolación) con las mayores tasas son los citados en el cuadro 7. Además, se observa que los distritos mencionados a continuación se encuentran, en su mayoría, en zonas de exposición a NO₂ muy altas o altas con excepción de dos (Santa Ana y San Antonio de Escazú) que se localizan en una zona media y muy baja respectivamente.

Cuadro 7. Tasa de mortalidad por suicidio estandarizada por edad (1 000hab) y niveles de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa mortalidad por suicidio (1 000 hab)	Nivel de exposición a NO ₂
10101	Carmen	0,98	Muy Alto
10104	Catedral	0,71	Muy Alto
40301	Santo Domingo	0,59	Muy Alto
40306	Santa Rosa	0,56	Muy Alto
10901	Santa Ana	0,55	Medio
40305	Santo Tomas	0,52	Muy Alto
10102	Merced	0,47	Muy Alto
10302	San Miguel	0,46	Muy Alto
10801	Guadalupe	0,44	Muy Alto
10111	San Sebastián	0,42	Muy Alto
10802	San Francisco	0,42	Alto
10203	San Rafael	0,39	Alto
40103	San Francisco	0,37	Alto
10202	San Antonio (Escazú)	0,33	Muy Bajo
10110	Hatillo	0,32	Muy Alto
11303	Anselmo Llorente	0,32	Muy Alto
10103	Hospital	0,30	Muy Alto
10108	Mata Redonda	0,30	Muy Alto
10109	Pavas	0,30	Alto

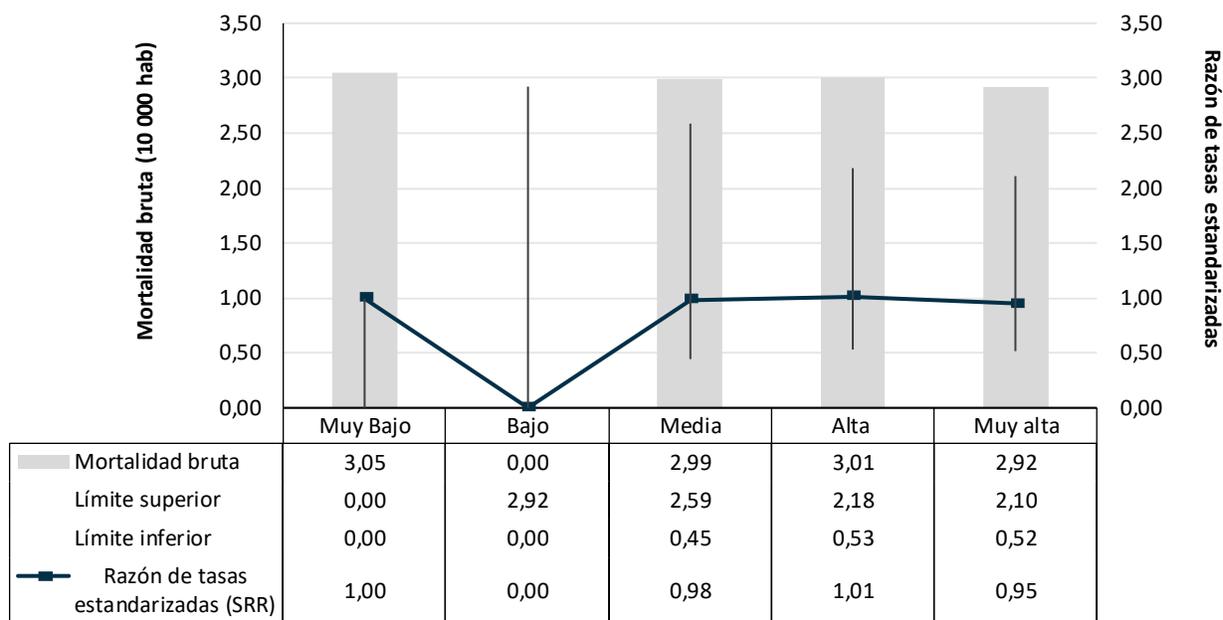
Nota: Para conocer las tasas de los trastornos y nivel de exposición de otros distritos ver anexo 20

Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEC y de la interpolación realizada con datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, 2022.

A pesar de las coincidencias entre las tasas de mortalidad y el nivel de exposición, se presentan zonas con altas concentraciones de NO₂ que poseen una tasa de mortalidad por suicidio baja, lo que es contrario a la hipótesis que se está explorando. Al analizar la

razón de tasas por zonas de exposición, se refuerza que la posible relación entre las variables sea algo débil.

Gráfico 15. Tasa de mortalidad bruta y razón de tasas estandarizadas (SRR) de suicidio por nivel de exposición de NO₂, para el periodo del 2016 al 2019



Nota: El nivel “muy bajo” se utiliza como referencia para calcular la magnitud de cambio del evento, en comparación con los demás niveles de exposición. Es por ello que, el valor de la razón de tasas para este nivel es de 1,00 y los límites 0,00, ya que no tiene un cálculo asociado, es un valor de referencia para establecer una comparación entre los niveles.

Fuente: elaboración propia, 2022.

El gráfico 15 evidencia que, al agrupar los distritos por niveles de exposición, las tasas de mortalidad de suicidio llegan a ser muy similares entre ellas, siendo el valor del nivel bajo nulo. Al observar la razón de tasas estandarizadas (SRR) se distingue que, de igual manera se mantienen en valores muy cercanos entre sí, lo que demuestra que no existe mayor probabilidad de ocurrencia del evento en las áreas según el nivel de exposición a NO₂ medido en la zona y en el periodo de estudio (2016-2019). Cabe destacar que, los límites de la razón de tasas estandarizada en todos los casos incluyen el 1 por lo que no se considera significativa estadísticamente.

El cuadro 8 muestra una síntesis de los indicadores que se han mencionado, entre ellos: tasa de mortalidad bruta y estandarizada (por edad y sexo), la razón comparativa de

las tasas y el valor de p. Este último se calcula a partir de una prueba chi-cuadrado la cual realiza una comparación de las proporciones (tasas crudas), según grupo de exposición y presenta sus resultados a un intervalo de confianza de 95 %.

Si el valor p llega a ser inferior a 0,05 se concluye que las proporciones comparadas difieren de manera significativa y existe evidencia estadística para comprobarlo. De lo contrario, si el resultado supera 0,05 no hay suficiente evidencia para confirmar que el comportamiento es diferente entre las proporciones.

Cuadro 8. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para suicidio según nivel de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Indicadores	Nivel de exposición a NO ₂				
	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
TM bruta (10 000 hab)	2,94	3,01	2,99	0,00	3,05
TM estandarizada por edad (10 000 hab)	2,96	3,06	3,14	0,00	3,00
TM estandarizada por sexo (10 000 hab)	2,98	3,04	2,99	0,00	3,06
Razón de tasas estandarizada	0,95 (0,41 a 2,03)	1,01 (0,53 a 2,16)	0,98 (0,41 a 2,45)	0,00	1,00
Valor p*	0,84 (MA-MB)	0,21 (A-B)	1,00 (A-M)	0,21 (M-B)	-

Nota: MA-MB: es el resultado de la comparación entre las proporciones (tasas crudas) ubicados en zonas con muy Alta y muy baja exposición. A-B: Comparación entre proporciones “alta” y “bajo”. A-M: Comparación entre proporciones “alta” y “media”. M-B: es la comparación entre “medio” y “bajo”.

*Ver anexo 21 para conocer resultados detallados de la Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas

Fuente: elaboración propia, 2022.

El cuadro anterior indica que el valor de p en cualquiera de las comparaciones de proporciones (tasas), indiferentemente del nivel de exposición, supera el número 0,05 por lo que no existe suficiente evidencia estadística significativa para afirmar que hay una diferencia en el comportamiento de la probabilidad de suicidio según los niveles de exposición a NO₂.

Con respecto al PM₁₀, propiamente en los distritos que abarca la interpolación (95 territorios), un 43 % de ellos superaron la tasa nacional, los territorios que presentan mayores tasas son los citados en el cuadro 9. A modo de aclaración, aunque porcentualmente los distritos que superan la tasa nacional de suicidio en la interpolación

de PM₁₀ y NO₂ son iguales, la representación del número de distritos en valores absolutos es mayor en la interpolación de PM₁₀, esto se debe a que la misma abarca espacialmente mayor cantidad de territorios (la cartografía de PM₁₀ y NO₂ incluyen 95 y 44 distritos respectivamente).

La mayoría de los distritos que superaron la tasa del evento en la interpolación de material particulado se ubican en espacios con exposiciones clasificadas como bajas, que abarcan concentraciones entre los 16 y 30 µg/m³, en ninguno de los distritos se encontraron concentraciones mayores a 51 µg/m³. Asimismo, solamente 7 de ellos se ubican en un nivel de exposición “medio” y 2 en “muy bajo”.

Cuadro 9. Tasa de mortalidad cruda por suicidio (1 000 hab) y niveles de exposición a PM₁₀, del 2016 al 2019

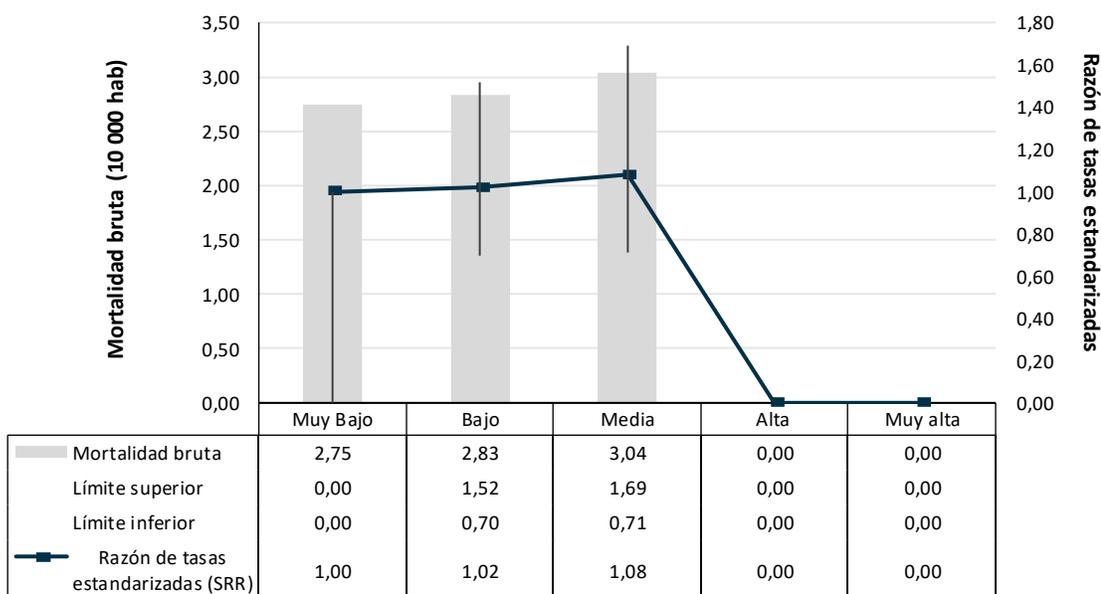
Código	Distrito	Tasa mortalidad por suicidio (1 000 hab)	Nivel de exposición a PM ₁₀	Código	Distrito	Tasa mortalidad por suicidio (1 000 hab)	Nivel de exposición a PM ₁₀
40308	Pará	0,99	Bajo	10802	San Francisco	0,42	Bajo
10101	Carmen	0,98	Bajo	40702	La Ribera	0,42	Medio
10806	Redondo	0,97	Bajo	40201	Barva	0,4	Medio
11803	Sánchez	0,76	Bajo	10203	San Rafael	0,39	Bajo
10104	Catedral	0,71	Bajo	11804	Tirrases	0,38	Bajo
40101	Heredia	0,68	Medio	30104	San Nicolas	0,38	Bajo
40601	San Isidro	0,63	Bajo	11104	Patalillo	0,38	Muy bajo
30110	Llano Grande	0,61	Bajo	40103	San Francisco	0,37	Medio
40301	Santo Domingo	0,59	Medio	10304	San Rafael Arriba	0,34	Bajo
40306	Santa Rosa	0,56	Medio	30306	Dulce Nombre	0,34	Bajo
10901	Santa Ana	0,55	Bajo	10202	San Antonio	0,33	Bajo
40305	Santo Tomas	0,52	Bajo	30305	Concepción	0,33	Bajo
40901	San Pablo	0,52	Medio	11101	San Isidro	0,33	Muy bajo
40801	San Joaquín	0,49	Medio	10110	Hatillo	0,32	Bajo
11501	San Pedro	0,48	Bajo	11303	Anselmo Llorente	0,32	Bajo
10102	Merced	0,47	Bajo	30301	Tres Ríos	0,32	Bajo
10302	San Miguel	0,46	Bajo	10905	Piedades	0,31	Bajo
10801	Guadalupe	0,44	Bajo	10103	Hospital	0,30	Bajo
11403	La Trinidad	0,44	Bajo	10108	Mata Redonda	0,30	Bajo
10111	San Sebastián	0,42	Bajo	10109	Pavas	0,30	Bajo

Nota: para conocer las tasas de los trastornos y nivel de exposición de otros distritos ver anexo 20

Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEC y de la interpolación realizada con datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, 2022.

El estudio de la razón de tasas estandarizadas por nivel de exposición permite observar que todas las categorías poseen un resultado similar y muy cercano entre sí (gráfico 16, línea azul), incrementando mínimamente el valor conforme se aumenta el nivel de exposición, por lo que no existe mayor diferencia en la probabilidad de aparición del evento. A pesar de ello dentro de sus límites se incluye el valor 1 por lo cual no es significativo estadísticamente.

Gráfico 16. Tasa de mortalidad y razón de tasas estandarizadas de suicidio por nivel de exposición de PM₁₀, para el periodo del 2016 al 2019



Nota: El nivel “muy bajo” se utiliza como referencia para calcular la magnitud de cambio del evento, en comparación con los demás niveles de exposición. Es por ello, que el valor de la razón de tasas para este nivel es de 1,00 y los límites 0,00, ya que no tiene un cálculo asociado, es un valor de referencia para establecer una comparación entre los niveles.

Fuente: elaboración propia, 2022.

En la interpolación de PM₁₀, no identificaron territorios con exposiciones altas o muy altas, por tanto, no tienen asociados registros de casos para el periodo estudiado (2016-2019). En el cuadro resumen de indicadores (cuadro 10) se reafirma lo indicado anteriormente, ya que el valor de p en las comparaciones que fueron posibles dio como resultado la inexistencia de diferencia significativa entre el comportamiento del evento y los niveles de exposición a PM₁₀.

Cuadro 10. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para suicidio según nivel de exposición a PM₁₀, del 2016 al 2019

Indicadores	Nivel de exposición a PM ₁₀		
	Medio	Bajo	Muy Bajo
TM bruta (10 000hab)	3,04	2,83	2,75
TM estandarizada por edad (10 000hab)	2,97	2,79	2,75
TM estandarizada por sexo (10 000hab)	2,83	2,86	3,07
Razón de tasas estandarizadas	1,08 (0,71 a 1,69)	1,02 (0,70 a 1,52)	1,00
Valor p*	0,62 (M-MB)	0,60 (M-B)	-

Nota: M-B: resultado entre la comparación “Medio” y “Bajo”. M-MB: comparación entre “Medio” y “Muy bajo”.

*Ver anexo 21 para conocer resultados detallados de la Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas

Fuente: elaboración propia, 2022.

4.2.1.1. Intento de suicidio

Según el capítulo anterior, el intento de suicidio es un fenómeno que se presenta el doble de las ocasiones en las que sucede un suicidio, este evento posee una tendencia de crecimiento clara en la GAM en el periodo estudiado. Asimismo, un 48 % de los distritos del Gran Área Metropolitana (GAM) superaron la tasa nacional para el mismo periodo (1,57 por 1000 habitantes).

En la interpolación de NO₂ se incluyen la mayoría de los distritos enlistados en el cuadro 5, en el que se citan aquellos que poseen las tasas de intento de suicidio más altas de la GAM. Solamente se encuentran fuera del perímetro de la interpolación 5 de ellos (Rancho Redondo, San Isidro de Heredia, San Isidro de Vázquez de Coronado, Oriental, Ipís y San Pedro).

Al estudiar el área que logra abarcar la interpolación de NO₂ se encontró que un 41 % de los territorios superan la tasa nacional de intento de suicidio durante el 2016 al 2019. En el cuadro 11, se mencionan los distritos con las tasas más altas y el nivel de exposición en el que se encontraron en el periodo, según la clasificación de la tabla 2

Cuadro 11. Tasa de incidencia por intento de suicidio estandarizada por edad (1 000 hab) y niveles de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de incidencia por intento de suicidio (1 000 hab)	Nivel de exposición a NO ₂
10101	Carmen	13,49	Muy alto
40301	Santo Domingo	3,87	Muy alto
10103	Hospital	3,32	Muy alto
40306	Santa Rosa	3,29	Muy alto
10104	Catedral	3,24	Muy alto
11001	Alajuelita	2,47	Alto
10801	Guadalupe	2,40	Muy alto
11401	San Vicente	2,23	Muy alto
11005	San Felipe	2,22	Alto
11002	San Josecito	2,05	Medio
11004	Concepción	2,02	Muy alto
10110	Hatillo	1,95	Muy alto
10109	Pavas	1,93	Alto
10902	Salitral	1,91	Bajo
10901	Santa Ana	1,79	Medio
10301	Desamparados	1,70	Muy alto
10106	San Francisco De Dos Ríos	1,69	Muy alto
10105	Zapote	1,63	Muy alto
10111	San Sebastián	1,50	Muy alto

Nota: Para conocer las tasas de los trastornos y nivel de exposición de otros distritos ver anexo 20.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEC y de la interpolación realizada con datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, 2022.

Gran parte de los territorios mencionados en el cuadro anterior se ubican en áreas donde la exposición es clasificada como muy alta o alta con excepción de 3: Salitral (bajo), Santa Ana (medio) y San Josecito (medio). Sin embargo, al agrupar los datos en niveles de exposición y calcular los indicadores en salud, se estima que el nivel de exposición “bajo” presenta la mayor tasa estandarizada por edad de intentos de suicidio, seguido por la categoría “muy alto” y luego “media”.

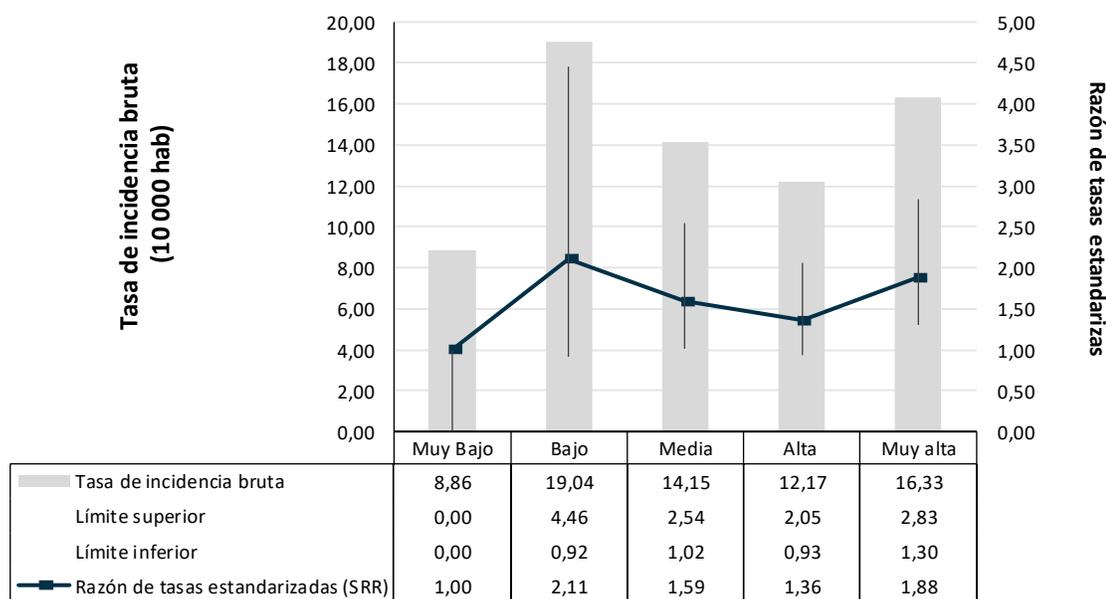
Cabe destacar que, el nivel de exposición “bajo” en la presente interpolación está conformado solamente por un distrito (Salitral), por lo que la cantidad de población en esta categoría es menor (denominador en el cálculo de la tasa de intentos) en comparación con el resto de las clasificaciones (dado que las demás categorías abarcan más de un

distrito) y por ello, la exposición “baja” resulta con una tasa de intentos de suicidio superior (ver gráfico 17). En futuras investigaciones es necesario añadir más estaciones o puntos de monitoreo, con la finalidad de alcanzar una mayor cantidad de espacios con diferentes niveles de exposición que permitan generar comparaciones con una menor incertidumbre asociada a la estimación calculada.

En el gráfico 17, se distingue que el nivel con la tasa más alta es el “bajo”, por la razón ya mencionada. Si se excluye este nivel, se observa que la categoría con mayor tasa es la muy alta y la de menor es la muy baja, el nivel “medio” y “alto” poseen tasas similares entre sí. En cuanto a la razón de tasas, se concluye que solamente el nivel “muy bajo”, “medio” y “muy alto” son significativos estadísticamente.

Al considerar los niveles de exposición significativos, se establece que, en los distritos localizados en el nivel muy alto existe 88,04 (30,03 a 182,69) más probabilidad de cometer intento de suicidio que los que pertenecen a un nivel “muy bajo” y en el nivel “medio” 58,93 (1,93 a 153,99) mayor probabilidad de que se presente un evento por intento de suicidio en comparación con el menor nivel de exposición a NO₂.

Gráfico 17. Tasa de incidencia bruta y razón de tasas estandarizadas de intento de suicidio por nivel de exposición de NO₂, para el periodo del 2016 al 2019



Nota: El nivel “muy bajo” se utiliza como referencia para calcular la magnitud de cambio del evento, en comparación con los demás niveles de exposición. Es por ello, que el valor de la razón de tasas para este nivel es de 1,00 y los límites 0,00, ya que no tiene un cálculo

asociado, es un valor asignado para establecer una comparación entre los niveles. Fuente: elaboración propia, 2022.

En cuanto al valor de p, que señala la existencia de diferencia entre las tasas crudas, solamente en el caso de la comparación entre los valores de las categorías “muy alto” y “bajo” hay suficiente evidencia para afirmar que hay un comportamiento diferenciado entre los eventos, según el nivel de exposición (cuadro 12).

Cuadro 12. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para intento suicidio según nivel de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Indicadores	Nivel de exposición a NO ₂				
	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
TI bruta (10 000hab)	16,33	12,17	14,15	19,04	8,86
TI estandarizada por edad (10 000hab)	17,08	12,33	14,43	19,12	9,08
TI estandarizada por sexo (10 000hab)	16,28	12,14	14,12	19,02	8,80
Razón de tasas estandarizadas	1,88 (1,30 a 2,83)	1,36 (0,9 a 2,05)	1,59 (1,02 a 2,54)	2,11 (0,92 a 4,46)	1,00
Valor p**	0,0019 (MA-MB) *	0,1474 (A-B)	0,2299 (A-M)	0,3645 (M-B)	-

Nota: MA-MB: es el resultado de la comparación entre las proporciones (tasas crudas) de zonas con “Muy Alta” y “Muy Baja” exposición. A-B: Comparación entre proporciones “Alta” y “Bajo”. A-M: Comparación entre proporciones “Alta” y “Media”. M-B: es la comparación entre “Medio” y “Bajo”.

*Diferencia en las proporciones (tasas crudas) significativa estadísticamente

**Ver anexo 22 para conocer resultados detallados de la Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas.

Fuente: elaboración propia, 2022.

En la interpolación de material particulado un 46 % de los distritos abarcados por el área superaron la tasa nacional de intentos de suicidios. En el cuadro 13 se enlistan los distritos con mayores tasas de intento de suicidio por nivel de exposición a PM₁₀. La mayor parte de los territorios se encuentran en un nivel de exposición a PM₁₀ entre los 16 y 30 µg/m³ (bajo), llegando a un máximo de 50 µg/m³ los cuales son considerados como una exposición media (San Domingo y Santa Rosa).

En este caso, no se alcanza en ningún espacio del área interpolada de la GAM concentraciones altas o muy altas, según la clasificación basada en los límites de calidad

del aire de la OMS, por lo que los distritos con mayor nivel de exposición son los identificados como medios. A pesar que en el mapa de la figura 9 se identifican 18 distritos categorizados con una concentración media (por ejemplo: Barrantes, Barva, Heredia, La Asunción, La Ribera, Llorente, Mercedes, Rincón de Sabanilla, San Antonio, San Francisco, San Joaquín, San Josecito, San Pablo, entre otros), solamente 2 de ellos poseen tasas altas (que superan la nacional).

Cuadro 13. Tasa de incidencia por intento de suicidio estandarizada por edad (1 000 hab) y niveles de exposición a PM₁₀, del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de incidencia por intento de suicidio (1 000 hab)	Nivel de exposición a PM ₁₀
10101	Carmen	13,49	Bajo
40301	Santo Domingo	3,87	Medio
10103	Hospital	3,32	Bajo
40306	Santa Rosa	3,29	Medio
10104	Catedral	3,24	Bajo
11001	Alajuelita	2,47	Bajo
10801	Guadalupe	2,40	Bajo
11401	San Vicente	2,23	Bajo
11005	San Felipe	2,22	Bajo
11002	San Josecito	2,05	Bajo
11004	Concepción	2,02	Bajo
10110	Hatillo	1,95	Bajo
10109	Pavas	1,93	Bajo
10902	Salitral	1,91	Bajo
10901	Santa Ana	1,79	Bajo
10301	Desamparados	1,70	Bajo
10106	San Francisco De Dos Ríos	1,69	Bajo
10105	Zapote	1,63	Bajo
10111	San Sebastián	1,50	Bajo

Nota: Para conocer las tasas de los trastornos y nivel de exposición de otros distritos ver anexo 20.

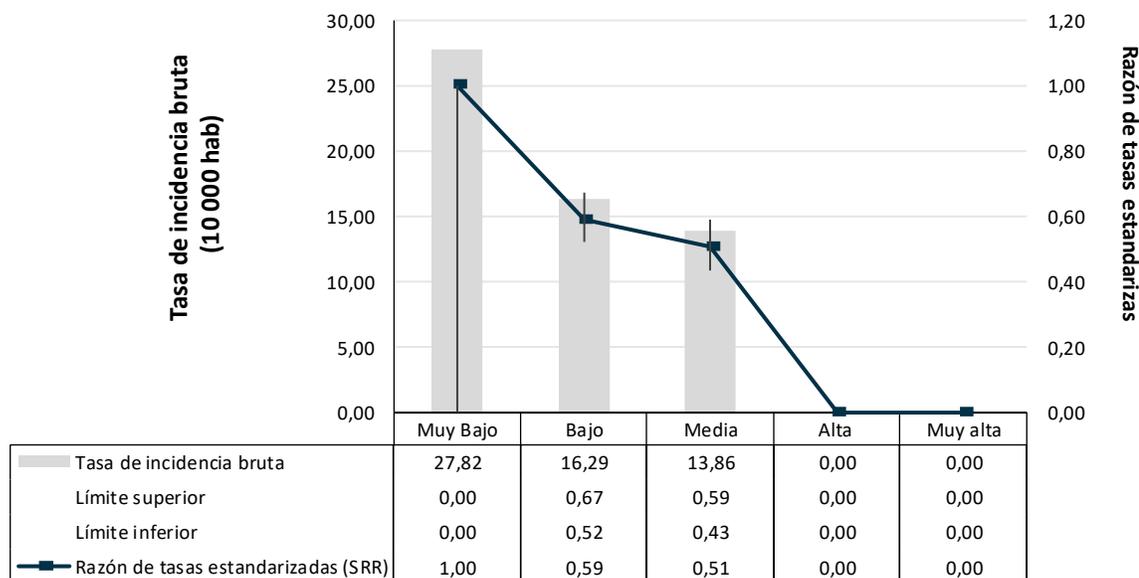
Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEC y de la interpolación realizada con datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional.

En el gráfico 18, se determina que el nivel con mayor tasa es el “muy bajo”, seguido por el nivel “bajo” y “medio”, como se mencionó la interpolación (para este periodo y con los datos existentes) de este contaminante no posee distritos que se localicen en niveles de concentraciones altas o muy altas, es por ello que las tasas son nulas, ya que no hay territorios dentro del área estudiada incluidos en esas categorías.

Por su parte, el estudio de la razón de tasas estandarizadas por nivel de exposición permite observar que existe una relación inversa entre las tasas por intento de suicidio y el nivel de exposición a PM_{10} (gráfico 18), la cual es contraria a la hipótesis que se planteaba determinar: a mayor exposición al contaminante, mayor tasa del trastorno. En otras palabras, no se constata que haya mayor probabilidad de intentos de suicidio a mayor nivel de exposición al contaminante PM_{10} , a nivel de la GAM (distritos alcanzados por la interpolación).

Esto puede darse por diversas razones, entre ellas: PM_{10} puede no ser una de las variables ambientales que incidan directamente en este evento en los distritos de GAM de Costa Rica, existe la posibilidad de que otros factores de índole socioeconómico en las comunidades presenten mayor peso en la gran red de determinantes de la salud mental o incluso contaminantes que sean más finos como $PM_{2,5}$. Y, por último, que surja la necesidad de homogenizar la distribución de las estaciones para poder acceder a interpolaciones más específicas y cercanas a la realidad, ya que al ubicarse las estaciones de monitoreo en puntos muy distantes existe la probabilidad de que se pierda información de otras áreas en la interpolación.

Gráfico 18. Tasa de incidencia bruta y razón de tasas estandarizadas de intento de suicidio por nivel de exposición de PM₁₀, para el periodo del 2016 al 2019



Nota: El nivel “muy bajo” se utiliza como referencia para calcular la magnitud de cambio del evento, en comparación con los demás niveles de exposición. Es por ello, que el valor de la razón de tasas para este nivel es de 1,00 y los límites 0,00, ya que no tiene un cálculo asociado, es un valor asignado para establecer una comparación entre los niveles.

Fuente: elaboración propia, 2022.

El valor de p expuesto en el cuadro-resumen (cuadro 14) muestra que ambas relaciones posibles, es decir, la comparación entre el nivel “medio” y “muy bajo”, y la categoría “media” y “baja”, poseen suficiente evidencia estadística para demostrar que los distritos pertenecientes a estos subgrupos tienen un comportamiento diferenciado. No obstante, en este caso esa diferenciación no obedece a la hipótesis explorada (mayor contaminación-mayores indicadores de trastornos), ya que como se mencionó los indicadores son más altos en los niveles más bajos de exposición.

En otras palabras, parece ser que para dicho periodo y según los datos existentes, el factor contaminación del aire por PM₁₀ no afecta de manera significativa en el comportamiento de los indicadores de salud para el trastorno de intentos de suicidio en el periodo estudiado (2016-2019).

Cuadro 14. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para intento de suicidio según nivel de exposición a PM₁₀, del 2016 al 2019

Indicadores	Nivel de exposición a PM ₁₀		
	Medio	Bajo	Muy Bajo
TI bruta (10 000 hab)	13,86	16,29	27,82
TI estandarizada por edad (10 000 hab)	14,37	16,71	28,41
TI estandarizada por sexo (10 000 hab)	13,81	15,65	33,83
Razón de tasas estandarizada	0,51 (0,43 a 0,59)	0,59 (0,52 a 0,67)	1,00
Valor p**	< 0,0001 (M-MB) *	0,0144 (M-B) *	-

*Diferencia en las proporciones (tasas crudas) significativa estadísticamente.

**Ver anexo 22 para conocer resultados detallados de la Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas

Nota: M-MB es el resultado de la comparación entre las proporciones de los casos ubicados en zonas con “Media” y “Muy Baja” exposición. M-B es la comparación entre “Medio” y “Bajo”.

Fuente: elaboración propia, 2022.

4.2.1.2. Depresión

La depresión es el único trastorno que posee una tendencia de descenso a través de los años en estudio, a pesar de eso es el evento con mayor número de notificaciones y tasas en comparación con el resto de los trastornos expuestos anteriormente. Un 31% de los distritos del GAM poseen tasas mayores a la nacional para el mismo periodo (31,54 por 1000 hab).

En el cuadro 6 se mencionan los distritos con las tasas más altas de la GAM, de ellos solamente 7 son abarcados por la interpolación de NO₂: Carmen, Cinco Esquinas, Santo Domingo, Catedral, Alajuelita, Zapote y Hospital. Todos los distritos anteriores se encuentran en un nivel de exposición “muy alto” con excepción de Alajuelita que está en un nivel “alto”.

La interpolación de NO₂ engloba menos espacio que la GAM, en consecuencia, las áreas con mayores tasas de depresión son diferentes a las del cuadro 6 (que menciona todas las de la GAM). Un 44 % de los territorios de la interpolación poseían una tasa de depresión mayor a la nacional, los territorios con las mayores tasas del evento y el nivel de exposición a NO₂ al que pertenece se mencionan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Tasa de incidencia de depresión estandarizada por edad (por 1 000 hab) y niveles de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de incidencia de depresión (1 000 hab)	Nivel de exposición de NO ₂
10101	Carmen	516,42	Muy alto
11302	Cinco Esquinas	209,82	Muy alto
40301	Santo Domingo	159,84	Muy alto
10104	Catedral	145,81	Muy alto
11001	Alajuelita	126,61	Alto
10105	Zapote	109,40	Muy alto
10103	Hospital	80,08	Muy alto
10301	Desamparados	60,77	Muy alto
11401	San Vicente	56,15	Muy alto
11303	Anselmo Llorente	51,51	Muy alto
11301	San Juan	51,34	Muy alto
10312	Gravilias	48,42	Alto
10801	Guadalupe	47,28	Muy alto
10110	Hatillo	46,05	Muy alto
10111	San Sebastián	44,49	Muy alto
10106	San Francisco de dos Ríos	43,83	Muy alto
10901	Santa Ana	37,36	Medio
10108	Mata Redonda	37,16	Muy alto
10303	San Juan De Dios	35,70	Alto
10302	San Miguel	34,42	Muy alto

Nota: Para conocer las tasas de los trastornos y nivel de exposición de otros distritos ver anexo 20.

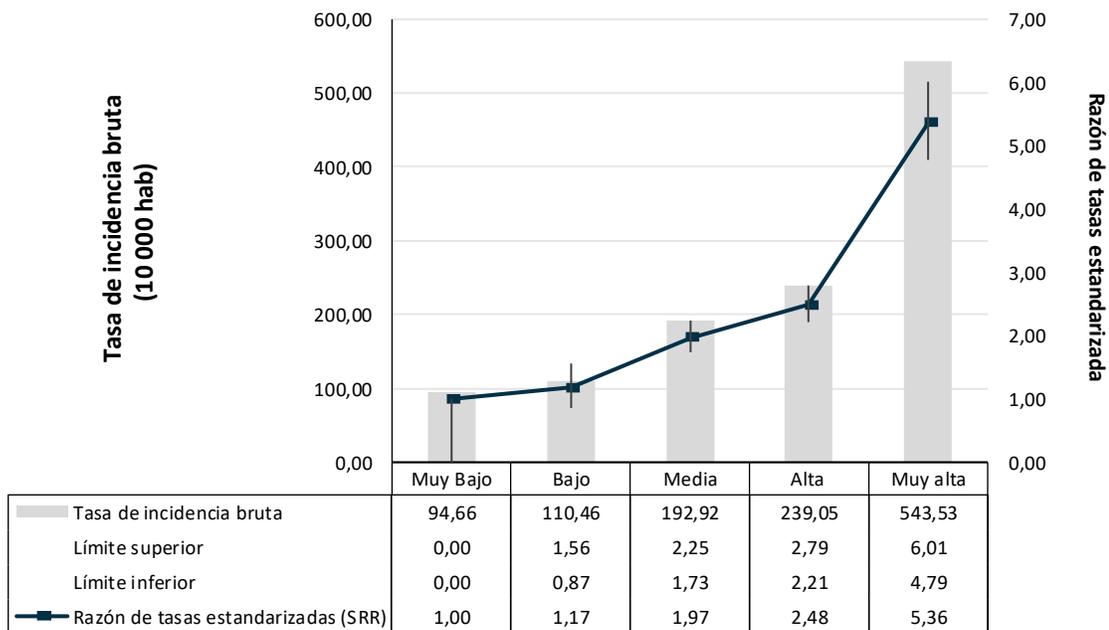
Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEC y de la interpolación realizada con datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, 2022.

Todos los distritos con las tasas más altas de depresión se ubican en la categoría “muy alto” o “alto”, con la excepción de Santa Ana que su nivel de exposición se clasifica como “medio”. Al agruparse los territorios por las categorías de exposición al contaminante y recalcular los indicadores de salud, se encontró que para depresión las tasas aumentan conforme incrementa el nivel de exposición (gráfico 19).

Este mismo comportamiento se observa en la razón de tasas estandarizadas, es decir, conforme la exposición es más alta el resultado de la SRR es mayor. Los valores del gráfico 19 evidencian que, en el nivel “muy alto” existe 435,98 (379,17 a 501,48) más probabilidad de padecer depresión en comparación con el menor estrato de exposición, de igual manera en los distritos que se clasifican como “alto” se identifica 147,93 (121,35 a 178,59) mayor probabilidad de que surjan casos por depresión, en aquellos clasificados

como concentraciones medias existe 96,89 (73,06 a 124,52) mayor probabilidad de presentar depresión en el periodo estudiado en comparación con la categoría “muy bajo”

Gráfico 19. Tasa de incidencia y razón de tasas estandarizadas de depresión por nivel de exposición de NO₂, para el periodo del 2016 al 2019



Nota: El nivel “muy bajo” se utiliza como referencia para calcular la magnitud de cambio del evento, en comparación con los demás niveles de exposición. Es por ello, que el valor de la razón de tasas para este nivel es de 1,00 y los límites 0,00, ya que no tiene un cálculo asociado, es un valor asignado para establecer una comparación entre los niveles.

Fuente: elaboración propia, 2022.

Incluso, el nivel “bajo” ya posee un poco más de probabilidad de padecer depresión que la categoría “muy bajo”, sin embargo, este nivel al incluir el 1 en sus límites deja de ser significativo, el resto de las áreas de exposición se consideran significativas estadísticamente.

Según los valores del cuadro-resumen, específicamente el valor de p exhibe que, en todas las relaciones posibles de comparar entre las categorías, al contrastarlas hay diferencia significativa (en la proporción de los casos según nivel de exposición), es decir el comportamiento del evento es diferenciado según las concentraciones a las que la población se exponga, siendo que, si se aumentan las concentraciones de NO₂, aumentan

los indicadores de salud dados por depresión en el periodo estudiado (cuadro 16) lo que concuerda con la hipótesis explorada.

Para validar la afirmación anterior es necesario aplicar pruebas de correlación, considerando que la correlación no es necesariamente causalidad. Resulta fundamental destacar que los datos y los productos obtenidos son correspondientes al periodo estudiado, por lo que el comportamiento de las variables puede modificarse en años posteriores al interactuar con otros determinantes de la salud.

Cuadro 16. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para depresión según nivel de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Indicadores	Nivel de exposición a NO ₂				
	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
TI bruta (10 000 hab)	544,58	239,05	192,92	110,46	94,66
TI estandarizada por edad (10 000 hab)	508,62	235,27	186,84	111,17	94,89
TI estandarizada por sexo (10 000 hab)	539,39	237,24	191,49	110,11	94,11
Razón de tasas estandarizadas	5,36 (4,79 a 6,01)	2,48 (2,21 a 2,79)	1,97 (1,73 a 2,25)	1,17 (0,87 a 1,56)	1,00
Valor p**	< 0,0001 (MA- MB) *	< 0,0001 (A-B) *	< 0,0001 (A-M) *	< 0,0001 (M-B) *	-

Nota: MA-MB: es el resultado de la comparación entre las proporciones (tasas crudas) de las zonas con “Muy Alta” y “Muy Baja” exposición. A-B: Comparación entre proporciones “Alta” y “Bajo”. A-M: Comparación entre proporciones “Alta” y “Media”. M-B: es la comparación entre “Medio” y “Bajo”.

*Diferencia en las proporciones (tasas crudas) significativa estadísticamente

**Ver anexo 23 para conocer resultados detallados de la Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas

Fuente: elaboración propia, 2022.

Para PM₁₀ la relación no parece ser tan clara. A manera de descripción, la interpolación del material particulado posee un 38 % de los distritos que superan la tasa nacional. En el cuadro 17 se mencionan los territorios con mayores tasas y la categoría que se encuentran según el nivel de exposición al contaminante. Se observa nuevamente que la mayoría de los distritos se clasifican, según la interpolación, con un nivel de exposición “bajo” a PM₁₀, únicamente 4 de ellos poseen una concentración “media”.

En este caso, solamente 4 de 20 distritos con los mayores niveles de exposición poseen también altas tasas de depresión, asimismo, se encuentran distritos con altas tasas y con niveles de concentración por PM₁₀ clasificados como “muy bajo” (Ipís, San Isidro de Vázquez de Coronado, Patalillo y Purrál).

Cuadro 17. Tasa de incidencia de depresión estandarizada por edad y niveles de exposición a NO₂, del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasa de incidencia de depresión (1 000 hab)	Nivel de exposición de PM ₁₀	Código	Distrito	Tasa de incidencia de depresión (1 000 hab)	Nivel de exposición de PM ₁₀
10101	Carmen	516,42	Bajo	10301	Desamparados	60,77	Bajo
40201	Barva	354,52	Medio	11401	San Vicente	56,15	Bajo
11302	Cinco Esquinas	209,82	Bajo	11303	Anselmo Llorente	51,51	Bajo
40301	Santo Domingo	159,84	Bajo	11301	San Juan	51,34	Bajo
10104	Catedral	145,81	Bajo	40302	San Vicente	49,95	Medio
40101	Heredia	133,58	Medio	40901	San Pablo	49,95	Medio
10806	Rancho Redondo	128,29	Bajo	10312	Gravilias	48,42	Bajo
11001	Alajuelita	126,61	Bajo	10801	Guadalupe	47,28	Bajo
10105	Zapote	109,4	Bajo	10110	Hatillo	46,05	Bajo
40601	San Isidro	108,98	Bajo	10111	San Sebastián	44,49	Bajo
10805	Ipís	99,9	Muy bajo	10106	San Francisco De Dos Ríos	43,83	Bajo
11101	San Isidro	92,35	Muy bajo	10804	Mata De Plátano	39,46	Bajo
10103	Hospital	80,08	Bajo	10901	Santa Ana	37,36	Bajo
40501	San Rafael	78,87	Bajo	10108	Mata Redonda	37,16	Bajo
11104	Patalillo	71,94	Muy bajo	30304	San Rafael	37,04	Bajo
10807	Purrál	64,98	Muy bajo	10303	San Juan De Dios	35,7	Bajo
11102	San Rafael	62,22	Bajo				

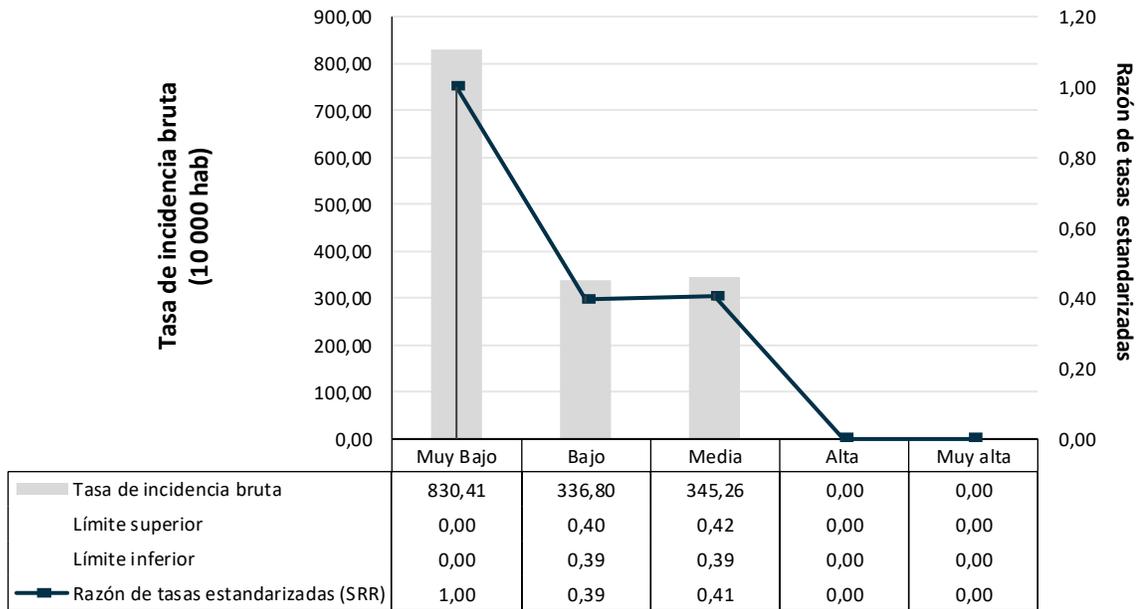
Nota: Para conocer las tasas de los trastornos y nivel de exposición de otros distritos ver anexo 20.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEC y de la interpolación realizada con datos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, 2022.

Al igual que en el caso de intento de suicidio, la relación entre el comportamiento de las variables (depresión y concentración de PM₁₀) parece ser inversa, es decir, no se cumple con lo esperado de: a menor contaminación por partículas, menores tasas dadas por depresión. La categoría con mayores indicadores es el nivel “muy bajo”, seguido del

nivel “medio” y por último “bajo” (la clasificación “alto” y “muy alto” no se incluye porque no se identificaron áreas en la interpolación que se ubicaran en esta categoría).

Gráfico 20. Tasa de incidencia y razón de tasas estandarizadas de depresión por nivel de exposición de PM₁₀, para el periodo del 2016 al 2019



Nota: El nivel “muy bajo” se utiliza como referencia para calcular la magnitud de cambio del evento, en comparación con los demás niveles de exposición. Es por ello, que el valor de la razón de tasas para este nivel es de 1,00 y los límites 0,00, ya que no tiene un cálculo asociado, es un valor de referencia para establecer una comparación entre los niveles.

Fuente: elaboración propia, 2022.

El resultado de la razón de tasas estandarizadas (SRR) es igualmente inverso, la tendencia entre las variables para el periodo y el área de estudio sea distinta a lo esperado. Asimismo, todos los resultados de la razón de tasas excluyen al 1 de sus límites por lo que se consideran significativos estadísticamente.

En el cuadro resumen (cuadro 18), se evidencia que, a pesar de ser el nivel de exposición “bajo” el que tiene mayor número absoluto de territorios, la categoría “muy bajo” posee mayores tasas ajustadas. El valor de p muestra que, en comparación, el comportamiento de las tasas crudas es diferenciado, no obstante, no se identifica un patrón de incremento en la afectación del evento según aumenta la exposición, los resultados pueden deberse a otras variables determinantes de la salud no incluidas en este estudio y no necesariamente, de manera directa o indirecta, a la exposición a PM₁₀.

Cuadro 18. Cuadro resumen de indicadores de salud y prueba chi cuadrado de Bondad de Ajuste para depresión según nivel de exposición a PM₁₀, del 2016 al 2019

Indicadores	Nivel de exposición a PM ₁₀		
	Medio	Bajo	Muy Bajo
TI bruta (10 000 hab)	345,26	336,80	830,41
TI estandarizada por edad (10 000 hab)	331,80	323,46	819,13
TI estandarizada por sexo (10 000 hab)	342,50	333,97	823,61
Razón de tasas estandarizada	0,41 (0,39 a 0,42)	0,39 (0,39 a 0,40)	1,00
Valor p	< 0,0001 (M-MB) *	0,0003 (M-B) *	

Nota: M-MB: es el resultado de la comparación entre las proporciones (tasas crudas) de las zonas con “Media” y “Muy Baja” exposición. M-B: es la comparación entre “Medio” y “Bajo”

*Diferencia en las proporciones significativa estadísticamente

**Ver anexo 23 para conocer resultados detallados de la Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas

En síntesis, en el caso del dióxido de nitrógeno las mayores tasas de los 3 trastornos estudiados se ubican en áreas con exposiciones clasificadas como “muy altas” y “altas” con excepción de 1 a 3 distritos según el evento (localizados en zonas medias). Por el contrario, con el material particulado la mayoría de los territorios con las tasas más altas de eventos se ubicaron en espacios con niveles de exposición bajos alcanzando como máximo solamente 4 distritos de la categoría “media”. Cabe destacar que en el nivel de exposición “media” hay alrededor de 18 distritos (el mayor nivel de exposición para la interpolación de PM₁₀) los cuales no coinciden con las tasas más altas de los trastornos.

Al agruparse los casos de exposición, se encuentra que las tasas de mortalidad por suicidio no parecen variar en gran medida ante la exposición a NO₂ y PM₁₀, donde la variación de los indicadores (razón de tasas) fue mínima (esta no fue significativa estadísticamente). Asimismo, el valor de p en ambos casos no logra evidenciar diferencia en el comportamiento de las tasas crudas según los niveles de exposición.

Para la relación entre intento de suicidio y la concentración de dióxido de nitrógeno se encontró que las tasas tienen mucha variación con respecto a la agrupación por exposición, pero no necesariamente las tasas aumentan de manera progresiva según el nivel de exposición. Al considerarse los resultados que fueron significativos

estadísticamente, se encuentra que los distritos ubicados en el nivel “muy alto” y “medio” presentan más probabilidad de ocurrir intento de suicidio en comparación con el nivel más “bajo” ((1,88 (1,30 a 2,83) y (1,59 (1,02 a 2,54), respectivamente). El valor de p da como resultado la existencia de diferencia entre las proporciones (tasas) solamente en la comparación entre nivel de exposición “muy alto” y “muy bajo”.

En cuanto al intento de suicidio y material particulado (PM₁₀), el comportamiento de las tasas fue inverso a lo esperado (disminuían conforme aumentaba el nivel de exposición), lo mismo ocurrió con la razón de tasas estandarizadas. El valor de p mostró que hay diferencia significativa entre las tasas crudas en los niveles de exposición, sin embargo, no obedece a la posible hipótesis a defender.

Referente a depresión y NO₂, las tasas aumentan conforme se incrementa el nivel de exposición, este mismo comportamiento se dio en la razón de tasas dando como resultado que se presentaron más eventos en aquellos distritos incluidos en las categorías más altas y medias (solamente el nivel bajo no fue significativo estadísticamente). El valor de p evidenció que las proporciones (tasas) difieren entre sí, en todas las comparaciones de proporciones de casos posibles.

Con respecto a PM₁₀, la situación fue muy similar a la del intento de suicidio, ya que el comportamiento de las tasas de depresión fue nuevamente inverso al nivel de exposición, lo mismo resultó con la razón de tasas, las cuales fueron significativas. Además, se demostró que había diferencia entre las proporciones (tasas) de los eventos según las exposiciones, pero como se mencionó fue contraria al aumento de la concentración.

■ Análisis de series temporales de los niveles de exposición a contaminantes y distribución de los eventos en salud

Con la finalidad de visualizar y comparar el comportamiento temporal de la tendencia de los indicadores de salud, se segregaron los datos de las tasas de trastornos por nivel de exposición a NO₂ y PM₁₀ (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) en cada uno de los años en estudio (2016 al 2019). En los gráficos 21, 22 y 23, se aprecian las tasas de mortalidad o incidencia de los trastornos mencionados, controlando la variable edad por nivel de exposición.

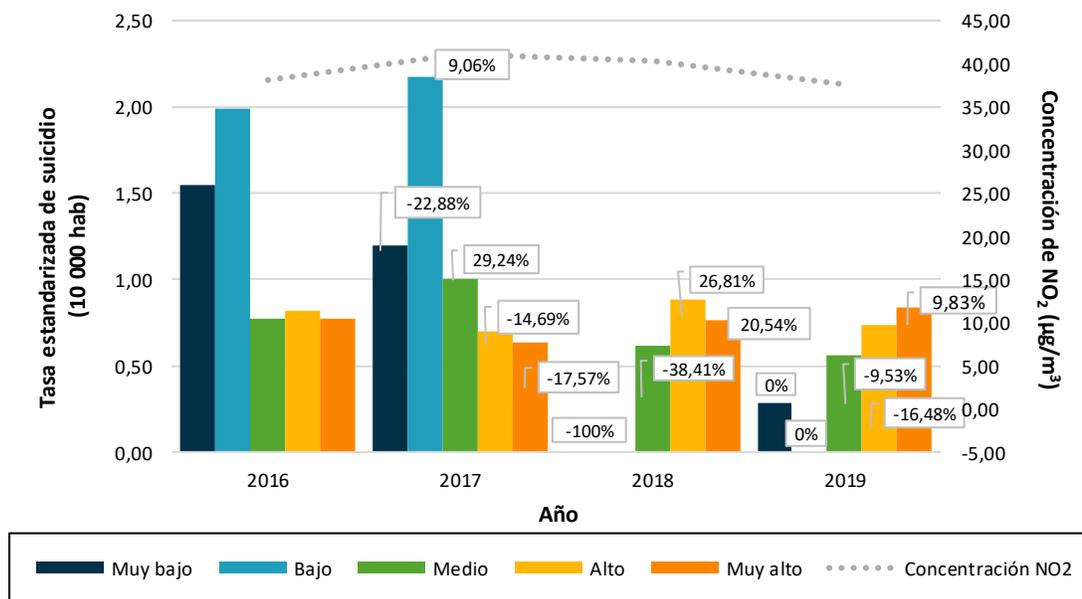
Asimismo, se muestra la variabilidad porcentual con respecto al año anterior, la cual refleja el crecimiento o el descenso de las tasas estandarizadas por categoría de

exposición para el periodo. Además, se analiza la razón de tasas que expresa la magnitud con la que se presenta un evento en los grupos en comparación (tasas de enfermedad de distritos agrupados según la clasificación dada en la interpolación de contaminantes). Dado que las interpolaciones han evidenciado un comportamiento diferenciado de los contaminantes según la temporada se muestra un análisis de los datos de trastornos según el periodo seco y lluvioso.

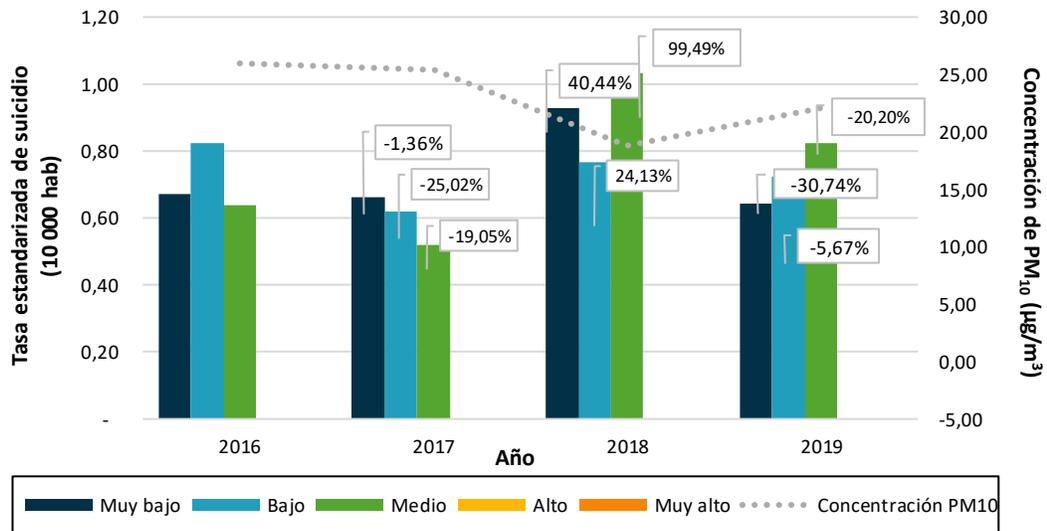
Para el caso del suicidio y la categorización de la exposición a NO₂, no se distingue una tendencia muy clara (gráfico 21, A), pero se observa que hay una reducción en los niveles de exposición más bajos en los últimos años, los niveles medios y altos se mantienen variando levemente. En cuanto al suicidio y el material particulado (gráfico 21, B) se aprecia que los valores oscilan por año (descienden, aumentan y descenden según el año), incrementando las tasas de todos los niveles de exposición en el año 2018. No obstante, a pesar de ello, no coincide con el comportamiento de la contaminación por PM₁₀, ya que el 2018 es el año con menores valores de concentración del contaminante.

Gráfico 21. Tendencia anual de la tasa estandarizada por edad de suicidio por nivel de exposición a NO₂ (A) y PM₁₀ (B), para el periodo del 2016 al 2019

A)



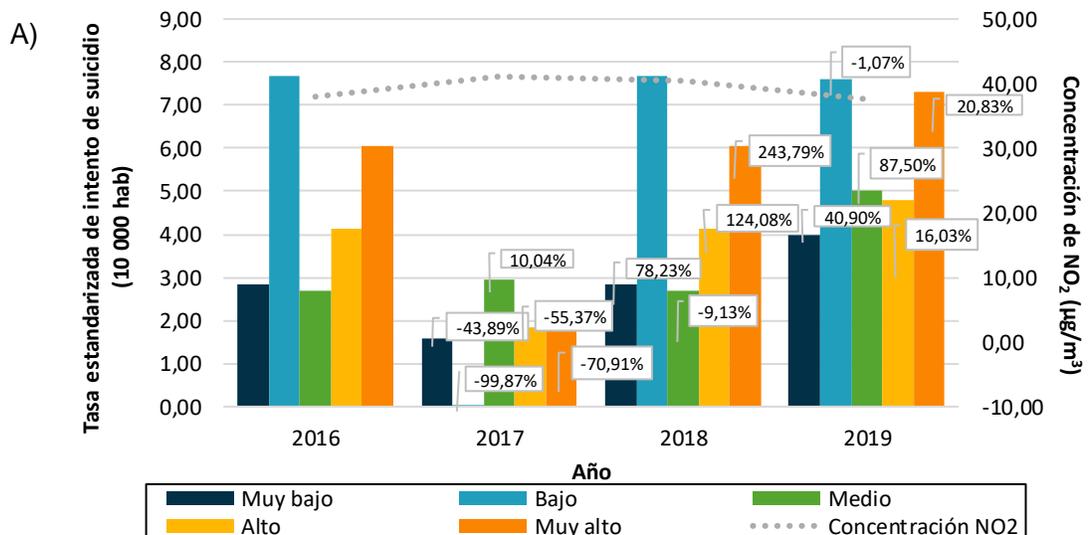
B)

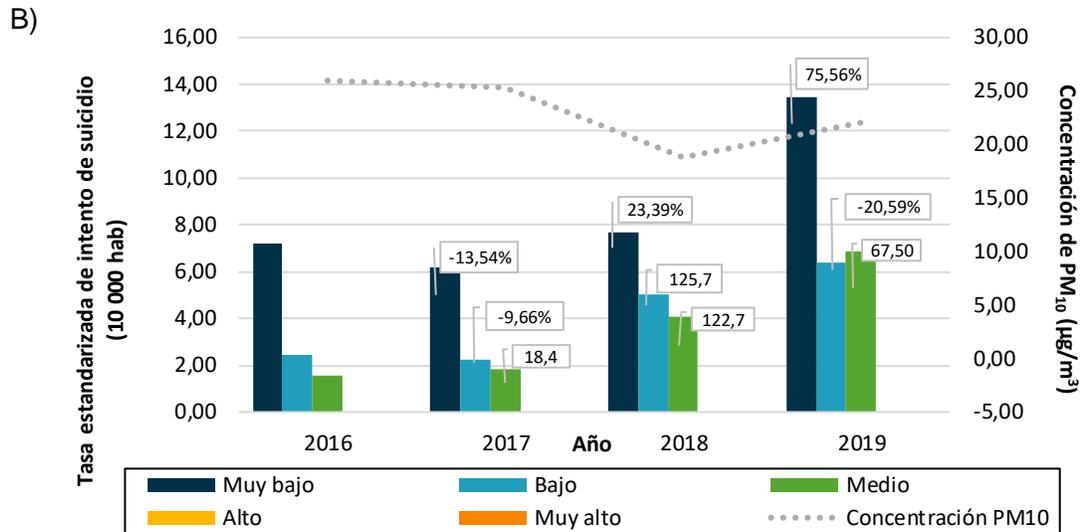


Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, INEC e interpolación espacial, 2022.

En el intento de suicidio y el dióxido de nitrógeno las tasas descienden solamente en el 2017 (gráfico 22, A) y aunque los niveles de concentración de NO₂ no varían mucho a través del tiempo, es el año con mayor concentración de contaminación (41,10 µg/m³). El resto de los años el comportamiento de los eventos es muy similar, hay un crecimiento de las tasas conforme aumenta el nivel de exposición a NO₂, sin embargo, este es interrumpido en todos los años por la categoría “baja” que posee tasas que alcanzan o superan los valores del nivel “muy alto”.

Gráfico 22. Tendencia anual de la tasa estandarizada por edad de intento de suicidio por nivel de exposición a NO₂ (A) y PM₁₀ (B), para el periodo del 2016 al 2019



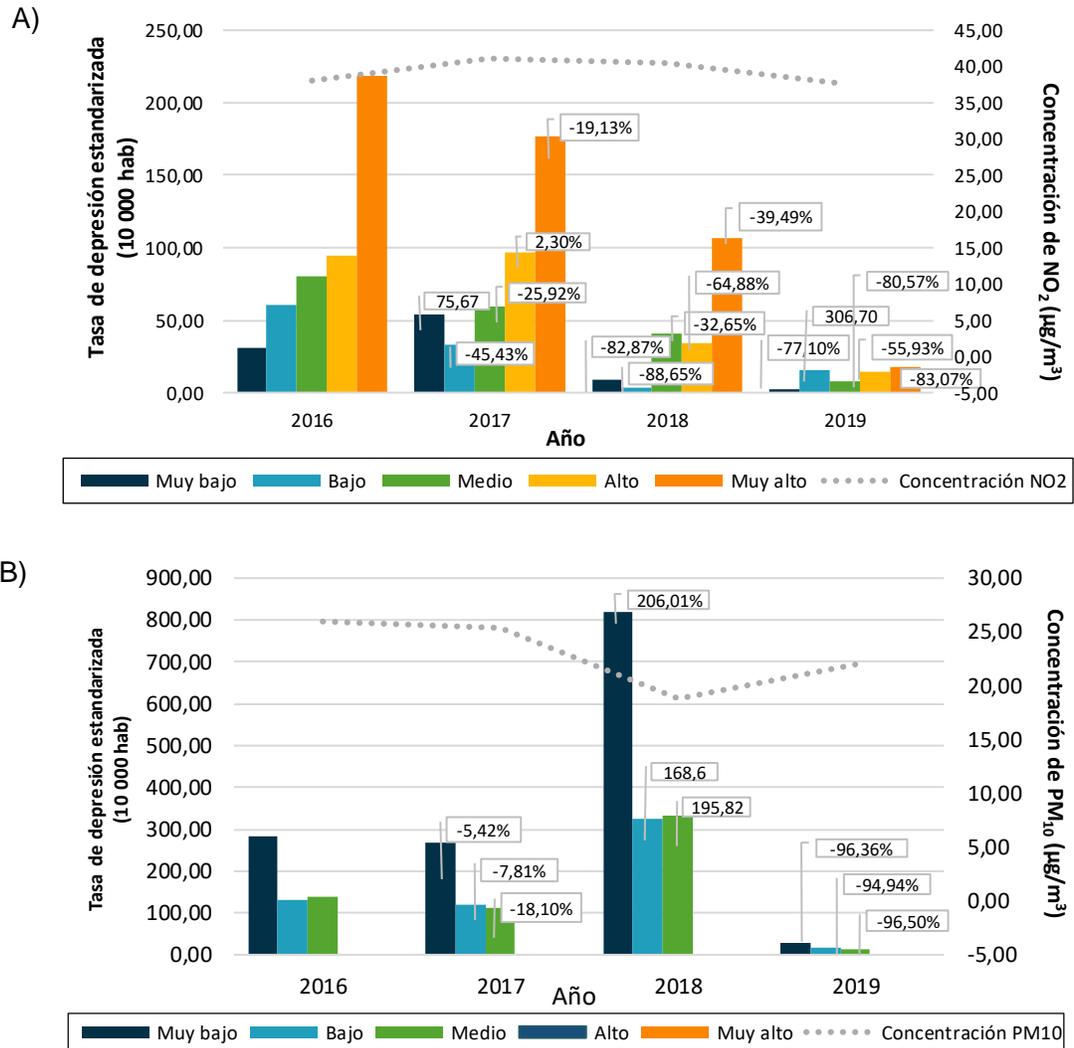


Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, INEC e interpolación, 2022.

La categoría con mayores tasas de intento de suicidio estandarizado por edad fue el nivel “bajo” en todos los años, con excepción del 2017, seguido por el “muy alto”. Al igual que en el suicidio, para el año 2018 las tasas de todos los niveles de exposición a PM₁₀ aumentaron, además en general se observa un incremento del trastorno a través del tiempo, indiferentemente de la concentración de contaminación a la que se vio expuesta la población (gráfico 22, B).

La depresión por su parte tiene un comportamiento muy parecido al de los trastornos pasados (intento de suicidio y suicidio) cuando se categoriza según el nivel de exposición a PM₁₀ (gráfico 23, B), el estrato con mayor concentración de tasas es el “muy bajo” para todos los años. No obstante, sucede lo contrario con el dióxido de nitrógeno, en el que, a pesar de observar un descenso claro a través de los años en todos los niveles de exposición, la categoría con mayor acumulación de tasas es el nivel más alto en todos los años (gráfico 23, B).

Gráfico 23. Tendencia anual de las tasas estandarizadas por edad de depresión por nivel de exposición a NO₂ (A) y PM₁₀ (B), para el periodo del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Salud, INEC e interpolación, 2022.

Asimismo, al observar cada uno de los años de manera individual en el gráfico 23, A; se identifica una tendencia clara al crecimiento de las tasas de depresión estandarizadas por edad conforme las clasificaciones de exposición a NO₂ aumentan (aunque esto es menos notorio en el 2019).

En cuanto a la razón de tasas, solamente para los eventos de depresión clasificados según el nivel de exposición a NO₂ resultaron valores estadísticamente significativos (anexo 24, 25 y 26). En los dos primeros años hay un crecimiento progresivo

de los valores de las razones conforme aumenta el nivel de exposición, en el 2018 y 2019 también, con excepción del nivel “muy alto” y “bajo” respectivamente, que disminuyen.

Por ejemplo, si se compara las tasas de áreas clasificadas como muy altas con las muy bajas se evidencia que para el año 2016 existía 608 más probabilidad de padecer depresión en un territorio con altas exposiciones a NO₂ en comparación con los distritos clasificados como muy baja exposición. De igual manera sucedió en los siguientes años: en el 2017 hubo 226 más probabilidad, 2018 existió 1051 más probabilidad y en el 2019 751 más probabilidad de sufrir el padecimiento en mención en áreas con muy altas concentraciones del gas en contraste con los sitios con menores concentraciones.

Diversos estudios en el área han evidenciado un cambio en los indicadores de salud de algunos trastornos cuando estos son analizados, considerando la temporada en la que se encuentra el país en el momento del evento. Por ejemplo, Szyszkowicz (2010) identificó en Vancouver un exceso de riesgo en la estación o el periodo más frío cuando se intentaba relacionar el suicidio con PM₁₀ y NO₂. Asimismo, sucedió con el intento de suicidio en el que se descubrió un aumento de los indicadores cuando se encontraban en climas fríos, no fue así con los meses cálidos (Szyszkowicz, 2009).

No obstante, esto parece variar con la localidad en la que se haya realizado el estudio, ya que en Tokio se encontraron asociaciones positivas y más fuertes entre suicidio y NO₂ (y otros contaminantes) en el verano, aunque los resultados carecieron de significancia estadística (Ng, Stickley, Konishi y Watanabe, 2016); en Utah, Estados Unidos se identificó un mayor fuerza de asociación entre exposición a NO₂ y suicidio en otoño (Bakian et al., 2015). En este caso, es importante retomar que en el primer capítulo se observó una diferencia en el comportamiento de los contaminantes y las temporadas presentes en Costa Rica.

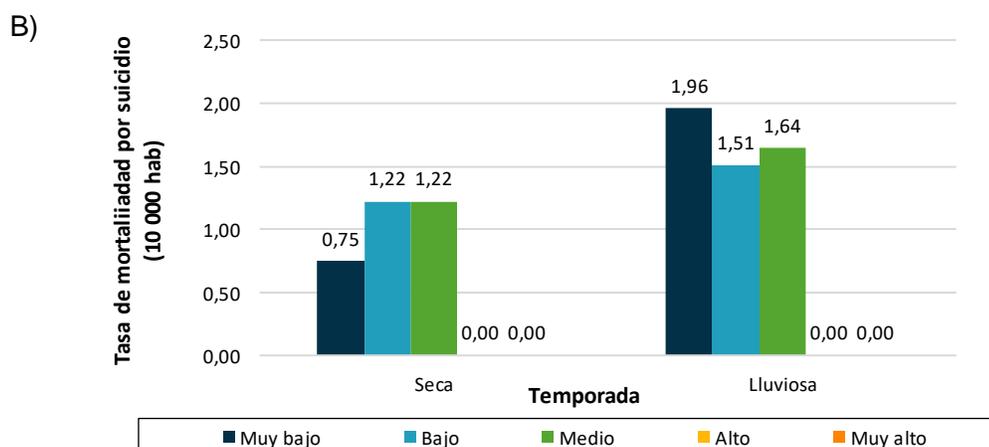
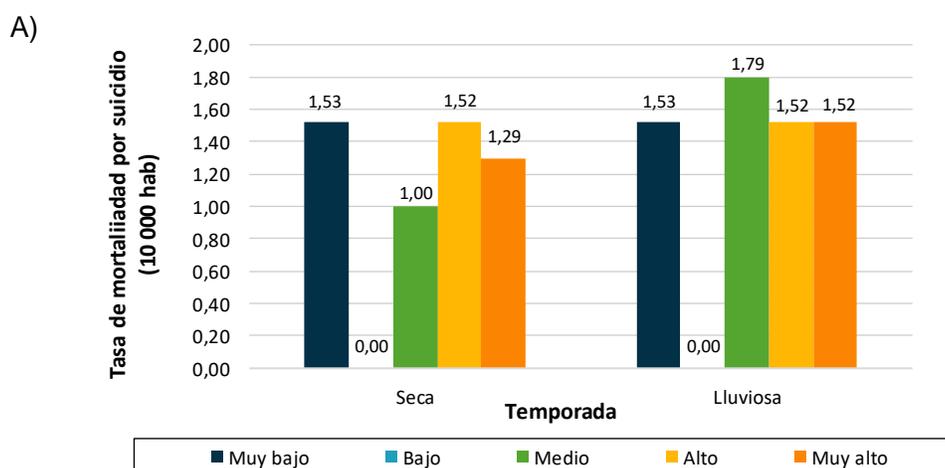
Las interpolaciones cambiaron los patrones de distribución espacial de las concentraciones según la temporada. Evidenciaron que las concentraciones de NO₂ disminuyeron, e incluso se eliminaron algunos de los puntos de mayores valores de contaminación en la temporada lluviosa, para PM₁₀ ocurrió lo contrario, la concentración de partículas se elevó considerablemente en la temporada con mayor precipitación. Por lo anterior, a continuación, se presenta el comportamiento de los trastornos por nivel de exposición a los contaminantes según la temporada.

El suicidio según la clasificación de PM₁₀ (gráfico 24, B), mostró que las tasas de eventos se elevaron en el periodo lluvioso en todos los niveles de exposición, esto fue más notorio en el nivel más bajo (el que engloba más distritos). En relación con NO₂,

solamente 2 niveles aumentaron considerablemente en la temporada lluviosa, el resto de ellos se mantuvo, por lo que la diferencia en el comportamiento según la temporada no es tan notoria (gráfico 24, B).

Los resultados del valor de p, que muestran la existencia o no de diferencia significativa entre los grupos comparados (niveles de exposición según la temporada seca y temporada lluviosa), sugieren que para el suicidio y dióxido de nitrógeno no hay diferencia estadística significativa para afirmar que haya un comportamiento diferenciado entre la aparición de eventos según los niveles de concentración de NO₂ por la temporada (anexo 27). En relación con PM₁₀, solamente en 2 de los niveles hay diferencia significativa: “muy bajo” (valor p: 0,01) y “bajo” (valor p: 0,04).

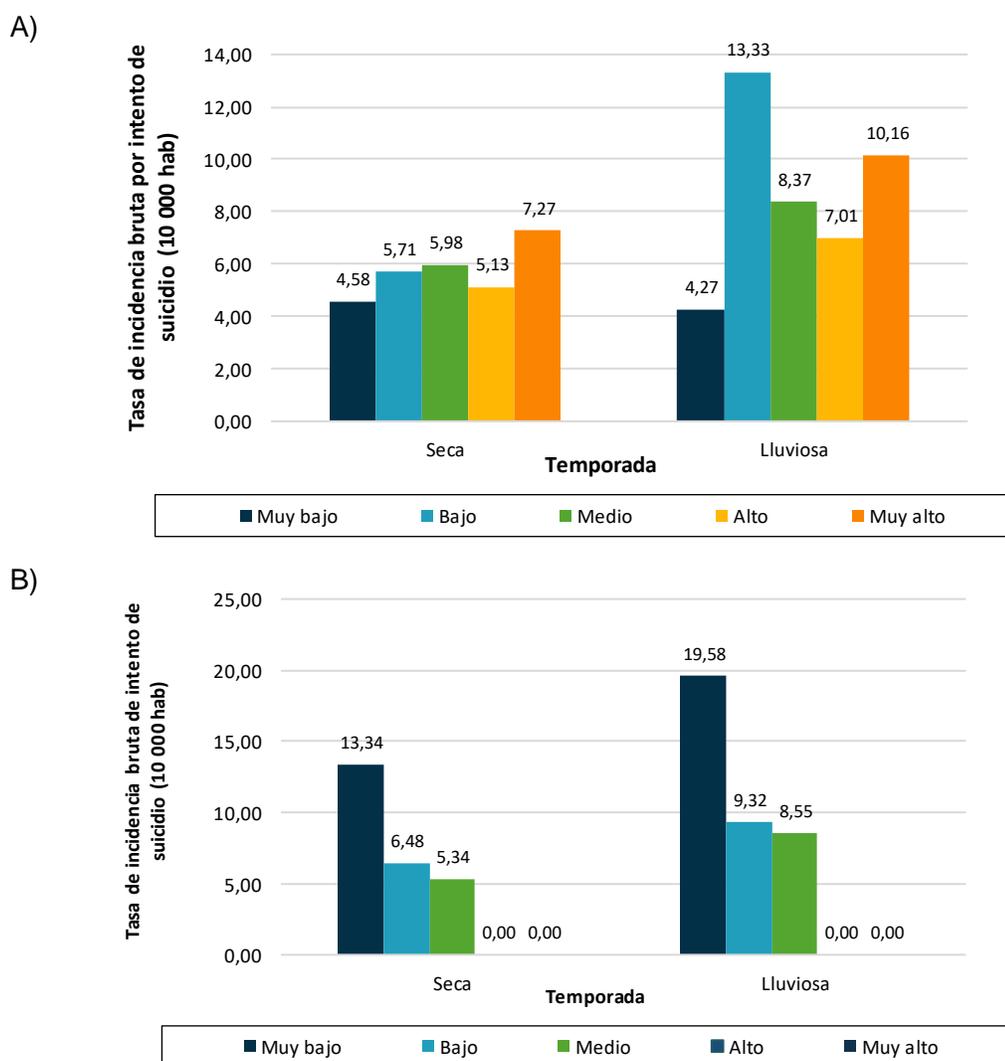
Gráfico 24. Tendencia de las tasas de suicidio por nivel de exposición a NO₂ (A) y PM₁₀ (B) según temporada, del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del INEC e interpolaciones, 2022.

En el intento de suicidio se identifica un aumento de las tasas en la temporada lluviosa en todos los niveles de exposición a PM₁₀ de acuerdo con los datos disponibles facilitados (gráfico 25, B). Lo mismo sucede con NO₂, solamente en el nivel “muy bajo” se observa una ligera reducción del valor del indicador, en el resto de las categorías incrementan las tasas (gráfico 25, A). Los resultados del valor de p sugieren que para el caso de NO₂ únicamente en 2 niveles de exposición existe diferencia significativa según las temporadas: “muy alto” (valor p: 0,0010) y “alto” (valor p: < 0,0001), para PM₁₀ todos poseen un comportamiento diferenciado y significativo (anexo 28).

Gráfico 25. Tendencia de las tasas de intento de suicidio por nivel de exposición a NO₂ (A) y PM₁₀ (B) según temporada, del 2016 al 2019

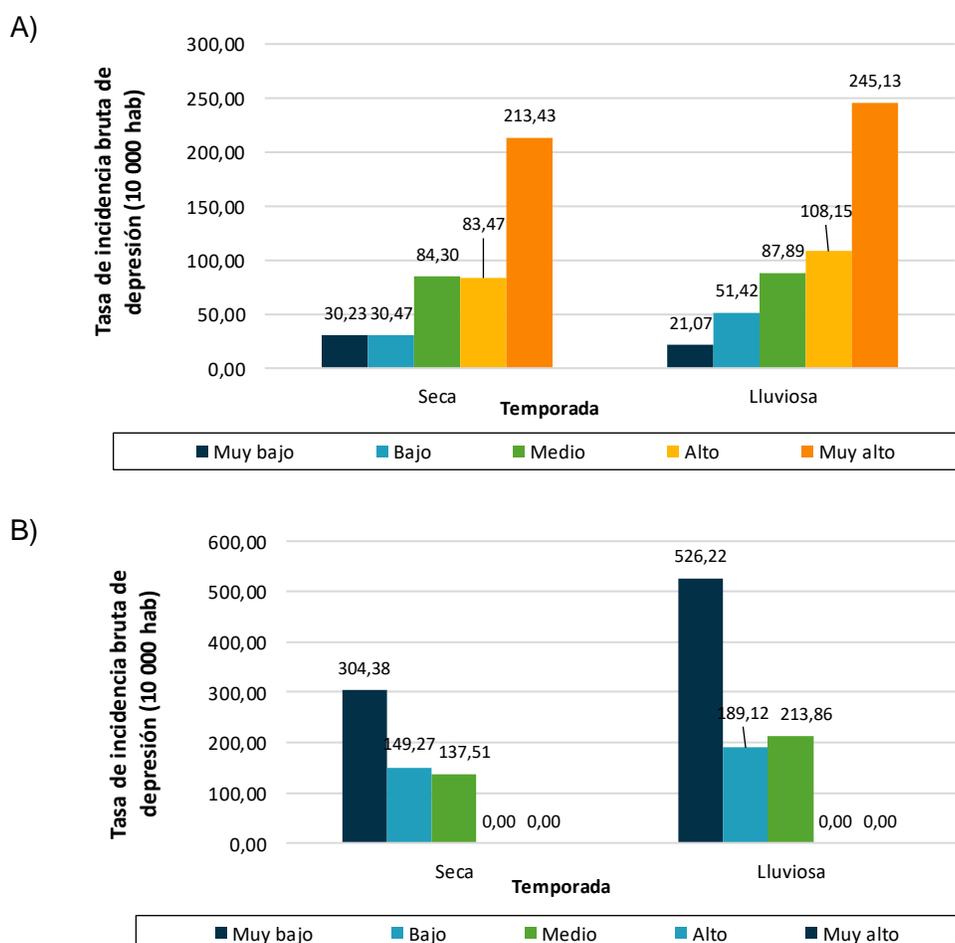


Fuente: elaboración propia con datos del INEC e interpolaciones, 2022.

En cuanto al material particulado y la depresión (gráfico 26, B), hubo un aumento en todos los niveles en la temporada lluviosa, de igual manera ocurrió con el gas NO₂ (gráfico 26, A), ya que se presentó un aumento de los eventos en todos los niveles con excepción del nivel “bajo” que se reduce levemente, los demás se incrementan. El nivel “muy alto” se mantiene como la categoría con tasas más elevadas de depresión en ambos periodos (seco y lluvioso).

Para depresión y NO₂ tres de los niveles de exposición evidenciaron diferencia significativa en el comportamiento de los eventos según la temporada en la que se haya dado: “muy bajo” (valor p: 0,02), “alto” (valor p: < 0,00) y “muy alto” (valor p:< 0,00), en relación con PM₁₀ todos los niveles se comportan de manera diferente según la temporada (anexo 29).

Gráfico 26. Tendencia de las tasas de depresión por nivel de exposición a NO₂ (A) y PM₁₀ (B) según temporada, del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia con datos del INEC e interpolaciones, 2022.

Este aumento de casos según los niveles de exposición en la temporada lluviosa puede estar sujeto a varias razones, entre ellas que la elevación de casos concuerde con la elevación de la concentración de la contaminación de PM₁₀, lo que sería contradictorio con NO₂ porque más bien disminuye sus concentraciones en la temporada lluviosa. Y otra posible razón, es que el periodo de la temporada lluviosa (considerado en este estudio) posee 2 meses más que la temporada seca por lo que existe un mayor plazo para la acumulación de los eventos en salud.

En resumen, para el suicidio y para el intento de suicidio no hay un patrón de comportamiento definido, quizás es necesario estudiar periodos más amplios ya que la incidencia, la aparición o incluso la detección por parte del sistema de salud de eventos no es tan frecuente como en la depresión. En el caso del suicidio y la concentración de NO₂, las tasas en los niveles más bajos en los últimos años llegan casi a desaparecer, en el resto de los niveles los valores se mantienen, por lo que los dos primeros años las categorías con mayores tasas eran la “muy bajo” y “bajo” y a finales del periodo estudiado pasan a ser las categorías altas las que poseen mayores tasas.

A pesar de que los valores de contaminación han tenido variaciones muy cercanas entre sí, el comportamiento de los trastornos y el contaminante PM₁₀ llega a ser contradictorio, por ejemplo, en el caso del suicidio el año pico no es coincidente con el valor más alto de contaminación, sino con el año más bajo; lo mismo sucedió con la depresión. Además, los niveles de exposición con mayores tasas en todos los eventos estudiados fueron los bajos.

Con el dióxido de nitrógeno los niveles que presentan mayores tasas son el “muy alto” y “alto” en los últimos dos años del periodo específicamente para el suicidio y para intento de suicidio la categoría “alto” es el segundo nivel con la mayor tasa, el primero es el nivel “bajo” al igual que en los dos primeros años del trastorno suicidio. En la depresión a pesar de su tendencia de disminución de las tasas, se cumple que, en cada uno de los años el nivel con mayor valor es el “muy alto”, seguido por el “alto”. La concentración del contaminante NO₂ a través de los años se mantiene muy estable, por lo que es difícil identificar un cambio en los eventos que sea coincidente con el comportamiento de la contaminación.

Por otra parte, existe un comportamiento diferenciado de las tasas de los eventos según las temporadas, se observa que para el periodo en estudio la tendencia es que haya un aumento en las tasas de todos los trastornos en la temporada lluviosa. Esto sucede incluso con la categorización dada por nivel de exposición a NO₂ en algunos de

los niveles, aunque anteriormente se mencionó que los puntos de acumulación del gas desaparecían en el periodo con mayor precipitación, posiblemente se deba a que la temporada lluviosa es más extensa que la seca.

■ **Correlación de variables: modelo de asociación**

Este apartado examina la dirección y la fuerza de asociación entre las variables independientes (concentración de NO₂ y PM₁₀) y las dependientes (suicidio, intento de suicidio y depresión), asimismo, muestra los resultados de una prueba de hipótesis que permite comprobar que los hallazgos no se deban al azar. La selección de la prueba de hipótesis se realizó después de recodificar y describir las variables considerando la normalidad y los coeficientes de correlación.

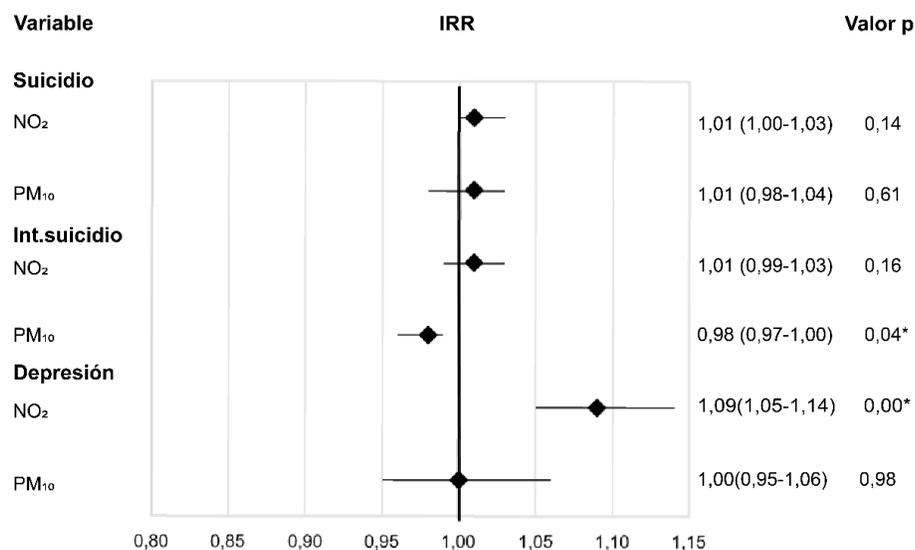
En primera instancia se generó un modelo de regresión lineal, sin embargo, este no se logró ajustar significativamente y no fue posible comprobar el cumplimiento de todos los supuestos para una correcta aplicación del método, por lo que se descartó (resultados de modelo se encuentran en el anexo 30). Por su parte, el modelo de Poisson a pesar de ser significativo para algunas de las relaciones tuvo que ser descartado por la probabilidad de subestimación del error estándar, dada a la existencia de sobre dispersión en los datos, esta fue comprobada a partir del cociente entre la desviación y los grados de libertad (resultados del modelo en el anexo 31).

Por lo anterior, se optó por el modelo de regresión binomial negativa robusta. La regresión fue modelada a nivel distrital para el conjunto de eventos de cada trastorno ocurridos entre el 2016-2019, 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.

Se muestra a continuación los resultados de la aplicación de los modelos de regresión binomial negativa robusta para cada una de las variables, los cuales están dados por los siguientes indicadores: el valor de p que valida la existencia de un efecto por parte de la variable predictora o explicativa hacia la variable de respuesta, y la razón de incidencia de tasas (IRR por sus siglas en inglés). Un $IRR > 1$ evidencia una asociación positiva, siempre y cuando el modelo sea significativo, por tanto, un resultado por encima de 1 refleja que la presencia del factor de exposición (variable explicativa) se asocia con una mayor ocurrencia del evento en salud (variable respuesta).

En la figura 10 se exponen los valores resultantes de los indicadores anteriormente mencionados, no obstante, se obtienen solamente dos variables o asociaciones con valores p significativos (tomando como nivel de significancia 0,05): la asociación entre intento de suicidio y PM₁₀, y la relación entre depresión y NO₂.

Figura 10. Resultados de modelo de regresión binomial negativa robusta para la asociación de la incidencia de los trastornos estudiados y los contaminantes NO₂ y PM₁₀.



*Valores significativos a un nivel de significancia de 0,05 Nota: El en anexo 32 se exponen los resultados en formato tabla. Fuente: elaboración propia, 2022.

Para las asociaciones con intento de suicidio, no se observó significancia estadística en ninguna de las dos variables independientes, ya que, aunque el valor de p resulta menor a 0,05 en la variable de PM₁₀, los intervalos de confianza del IRR por fluctuaciones aleatorias incluye el valor de uno (0,98 (0,97 a 1,00)) por lo que no se considera significativa estadísticamente. Por lo mencionado los resultados no son concluyentes para el periodo en estudio.

Para el caso de la depresión la asociación es positiva y más fuerte que en el intento de suicidio. 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.

El comparar estos resultados con otros estudios es complejo ya que en la actualidad existen discrepancias en la literatura 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 (experimentales y no experimentales), donde son incluidas o no diferentes variables que son consideradas según la percepción del investigador o por la disponibilidad de la información.

Dado que la explicación teoría y fisiológica de una posible relación entre la contaminación y los trastornos mentales hasta el momento se basa en hipótesis, no se encuentra un patrón definido de las variables que deben ser controladas. La falta de claridad en la ruta fisiológica del contaminante y su impacto a nivel del sistema nervioso, enfocado en la psicología o psiquiatría, genera en consecuencia estudios con diversas metodologías y varios factores confusores que no son incluidos en todas las investigaciones.

No obstante, al analizar algunos de estudios más cercanos geográficamente a Costa Rica (México y Colombia) y que han desarrollado metodologías similares, 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.

Asimismo, aunque la asociación resultante entre intento de suicidio y PM_{10} e intento de suicidio y NO_2 no fue 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 (Szyszkowicz et al., 2020).

La depresión parece tener mayores estudios de referencia, Łopuszańska y Studzińska (2017) demostraron 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}).

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, Altuğ et al., 2009, Kioumourtzoglou et al., 2017, Wang et al., 2014, Pun et al., 2017, Zijlema et al., 2016). Pese a que la obtención de los resultados del modelo dio un IRR mayor en la relación entre depresión y NO_2 ,

deben ser interpretados con cautela ya que se trata de un estudio ecológico, observacional, los cuales son útiles para plantear posibles líneas de investigación a futuro.

En general el espacio geográfico abordado se caracteriza por ser heterogéneo, por lo que el impacto de la contaminación del aire sobre las tasas de los trastornos puede variar en cada una de las partes del área de estudio. Resulta importante conocer si ese valor global puede cambiar cuando es estudiado localmente, es decir identificar cuál es la variación que tienen las variables independientes en la explicación de la dependiente en el espacio.

Por lo anterior, se generó una regresión ponderada geográficamente (GWR) que proporciona un modelo local para identificar los distritos en los que la concentración de los contaminantes podría incidir mayormente en la explicación del comportamiento de los trastornos. La GWR ajusta el modelo a la distribución de los datos en el espacio y es aplicable, sobre todo, cuando el comportamiento de la variable dependiente presenta conglomerados que no están dados por el azar, en este caso solo la depresión cumple con dicho criterio (anexo 6).

La GWR se aplica debido a 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 (ESRI, 2018a). El análisis de la variabilidad espacial de los coeficientes se representa en la figura 11a y figura 11b, las unidades en tonalidades naranjas y amarillas representan los sitios donde la concentración de NO_2 y PM_{10} (respectivamente) tiene más peso en la explicación de la variable dependiente (los parámetros detallados del modelo se encuentran en el anexo 33).

En el caso del dióxido de nitrógeno (figura 11a) los coeficientes más altos se concentran en el este del área interpolada, abarcando alrededor de 35 distritos, los indicadores parecen descender conforme se acercan al oeste del territorio estudiado. Los territorios con los coeficientes más altos concuerdan con las áreas que poseen las concentraciones más elevadas de dióxido de nitrógeno, así como con los espacios en los que hay mayor densidad de edificaciones, construcciones, redes viales y con las temperaturas superficiales más altas (anexo 11).

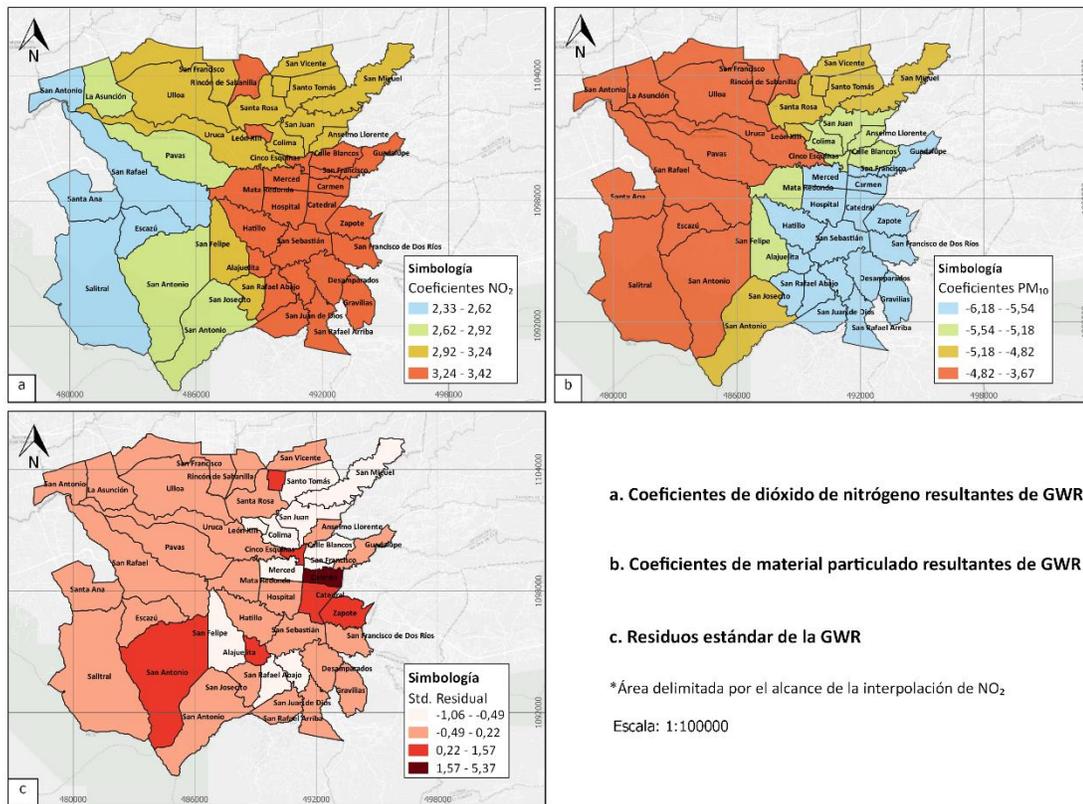
Los factores anteriores inciden en la distribución de la contaminación, por lo que tendría sentido que la dispersión de los contaminantes sea menor (Figueroles y Marino, 2012) (Environmental Protection Agency, 2008) (Camilloni y Vera, 2007). Aunado a eso, la incorporación constante de gases a la atmósfera por parte de fuentes propias de la

realidad urbana podría traducirse en una exposición continua de la población que habita en los distritos como Merced, Carmen, Catedral, Hospital y otros, que además forman parte del grupo de distritos que poseen las tasas más altas de depresión.

Las áreas donde la variable explicativa no incide con tanta fuerza (oeste) coinciden con los distritos en los que se encontraron menores concentraciones de dióxido de nitrógeno. Asimismo, concuerdan con los espacios donde existe mayor cobertura y precipitación, por tanto, la temperatura es menor; factores que podrían estar facilitando la dispersión de la contaminación en esos distritos.

Lo citado anteriormente puede generar que la capacidad de la contaminación en la explicación de los casos de la depresión sea mucho menor en esos sitios en comparación con el resto de los distritos con mayores coeficientes. En estos distritos pueden estar influenciando más otras variables que explican la depresión que no necesariamente se vinculan con la contaminación ambiental (otras explicaciones a nivel individual que impactan el comportamiento de la variable y).

Figura 11. 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, 2022.

Elaborado por: Bach. Mónica Jiménez Seas

a. Coeficientes de dióxido de nitrógeno resultantes de GWR

b. Coeficientes de material particulado resultantes de GWR

c. Residuos estándar de la GWR

*Área delimitada por el alcance de la interpolación de NO₂

Escala: 1:100000

En cuanto a los resultados de PM₁₀ (figura 11b), se encuentra que todos los coeficientes son negativos, lo que refleja una relación inversa (por cada unidad de incremento de la variable independiente hay un descenso de la variable dependiente). Este mismo comportamiento se observó en las pruebas anteriormente aplicadas, por ejemplo, el cálculo de las razones de tasas estandarizadas por nivel de exposición a material particulado durante el periodo de estudio demostró una relación inversa (gráfico 20).

Del mismo modo sucedió cuando se calcularon las tasas anuales estandarizadas, las cuales evidenciaron que los niveles con mayores indicadores fueron el “muy bajo” y “bajo” cada uno de los años de estudio (gráfico 23, b), por lo que la relación positiva entre la depresión y material particulado no es observada en pruebas globales, ni locales.

A los residuos de la variable dependiente (diferencia entre el valor observado y proyectado) se les aplicó una prueba de moran I la cual determinó que existe una probabilidad de menos del 10 % de que 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 (tabla 3). Además, el alto número de variación de la variable dependiente que no fue explicada por la variable desenlace (residuos) se debe a que no se incluyeron otras razones individuales explicativas del trastorno que analice más allá del proceso de exposición a la contaminación del aire, el cual ha sido considerado a nivel agregado.

Tabla 3. Resumen de resultados de índice de Moran para los residuos de la GWR de la asociación de concentración de NO₂ y PM₁₀ con depresión en algunos distritos de la GAM en el periodo del 2016-2019.

Índice de Moran	Puntuación Z	Valor P
-0,118169	-1,705058	0,088184

Nota: si el valor p < 0,05 se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, el atributo analizado está agrupado espacialmente.

Fuente: elaboración propia, 2022.

El mapeo de los residuos permite evidenciar los sitios donde las tasas fueron menor de lo esperado por el modelo (blanco), las áreas en las que las tasas se aproximan al valor predicho y donde fueron mayores a las esperadas (rojo). En la figura 11c se muestra que solamente un distrito presenta valores mayores a los esperados

(Carmen), el cual se ha destacado por ser la unidad territorial que posee las tasas más altas en todos los trastornos estudiados en el periodo seleccionado. En el caso de la depresión el Carmen posee una tasa de 516,42 por cada 1000 habitantes, excesivamente mayor a la nacional para el mismo periodo (31,54 por 1000 hab), por lo que es lógico que el modelo indique el valor observado sea mayor al predicho por el modelo, ya que se diferencia notablemente del comportamiento del resto de distritos.

Se identifican algunos territorios en los que el valor observado se aproxima con mayor fuerza al predicho (intervalo de 0,22 a 1,57) que incluyen 6 distritos, asimismo se distingue un agrupamiento de valores ligeramente cercanos al valor esperado, pero no tan fuertemente (clúster rosado claro) y otro al norte con valores menores a los calculados por el modelo (blanco). A pesar de que el modelo refleja la heterogeneidad de la asociación es necesario que a futuro sea ajustado con más variables explicativas (no necesariamente ligadas a procesos de contaminación) que ayuden a reducir los residuos y acerquen los valores resultantes del modelo a los reales.

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.

En cuanto a eso, la contaminación puede tener un impacto indirecto, por ejemplo, la contaminación del aire tiene la capacidad de incrementar el riesgo de enfermedades cardiovasculares que han sido vinculadas a episodios depresivos (Naarding et al., 2005, Miller et al., 2007, Hong et al., 2002). Por lo que sería una reacción en cadena, donde la contaminación no es necesaria, ni suficiente para que por sí misma induzca episodios depresivos, pero sí podría tener asociado un porcentaje de riesgo que aumentaría la vulnerabilidad de las personas expuestas a la contaminación.

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 (Braithwaite et al., 2019). En este caso se consideran las altas concentraciones de contaminantes un factor estresor más, que tiene la capacidad de activar las células defensoras del sistema nervioso (microglías, entre otras) y generar neuroinflamación. Una exposición constante (crónica) hipersensibiliza a la microglía a estímulos dados por

tóxicos o sustancias exógenas (Braithwaite et al., 2019) (Raison, Capuron y Miller, 2006, p.24) (Jayaraj et al., 2017).

En cuanto a otras conductas suicidas, 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 (Gladka, 2022).

Es por lo que, resulta necesario que a futuro se generen investigaciones a nivel individual, que midan el efecto potencial de la contaminación del aire considerando o controlando las comorbilidades mentales, enfermedades cardiovasculares e incluso tomando en cuenta la clase socioeconómica. Con la finalidad de conocer la interacción entre los componentes ambientales y la susceptibilidad individual, la cual es imperceptible en estudios exploratorios de los efectos en toda la población.

En otras palabras, seguramente estas interacciones entre las concentraciones de contaminantes como factores estresantes que generan neuroinflamación por si solas no serían capaces de producir depresión o desencadenar un intento de suicidio. Sin embargo, no por ello se les debe restar importancia, el obtener datos a gran escala de casos de trastornos y relacionarlos con información sobre el estado de la calidad del aire e información demográfica puede ayudar a identificar factores de riesgo ambientales con el potencial de ser modificables mediante acciones desde la salud pública y la regulación ambiental.

V. CONSIDERACIONES FINALES

5.1. Conclusiones

El propósito de la presente investigación fue analizar exploratoriamente el comportamiento de los eventos de depresión, intento de suicidio y suicidio y concluir si las tendencias identificadas podrían estar relacionadas con las concentraciones de PM₁₀ y NO₂, en el Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica, en el periodo del 2016 al 2019.

Se inició estudiando el comportamiento de las variables, respecto a ello se concluye que las tasas de suicidio no parecen tener una tendencia de aumento o descenso en el periodo en estudio. Asimismo, los grupos poblacionales que sufrieron mayor número de suicidios fueron los hombres y las personas adultas y adultas jóvenes.

Espacialmente la distribución de los casos de suicidio se debe a un proceso aleatorio, no se encuentra clúster o patrón espacial. Un 47 % de los distritos estudiados superaron la tasa nacional de suicidio para el mismo periodo (0,29 por cada 1000 habitantes), entre ellos los que poseían mayores tasas fueron: Pará (0,99), Carmen (0,98), Rancho Redondo (0,97), Atenas (0,89), Potrero cerrado (0,77), entre otros.

Por cada suicidio consumado se registraron alrededor de 6 intentos de suicidio en la GAM, además este trastorno tuvo una tendencia de crecimiento clara a través de los años de estudio. La población que cometió mayor cantidad de intentos de suicidio en este periodo fueron las mujeres y las personas adolescentes y adultas jóvenes.

Al igual que el suicidio, estadísticamente se dio la inexistencia de clústeres espaciales para este trastorno. Un 48 % de los distritos estudiados superaron la tasa nacional por intento de suicidio (1,57 por cada 1000 habitantes), entre ellos los territorios identificados con las mayores tasas del trastorno son: Carmen (13,49), Rancho Redondo (5,23), San Isidro de Vásquez de Coronado (4,40), San Isidro de Heredia (4,23), Oriental (4,21), entre otros.

La depresión por su parte tuvo la tendencia a descender, experimentando porcentajes de reducción significativos año con año, no obstante, sus valores superaron la tasa nacional. Se determinó que la población con mayores casos de depresión fueron las mujeres y las personas adultas mayores (las tasas aumentan conforme la población envejece).

Estadísticamente existe una agrupación espacial de los valores más altos, ubicándose en el centro de la GAM (San José). Además, un 31 % de los distritos

superaron la tasa nacional para el periodo (31,54 por 1000 habitantes), entre ellos los que obtuvieron mayores tasas son los siguientes: Carmen (516,45), Barva (354,52), Cinco Esquinas (210,08), Dulce Nombre (194,66), Santo Domingo (159,84).

Con respecto a la concentración de los contaminantes, ninguno de ellos incumple con la normativa nacional en los promedios anuales calculados, no obstante, es superado el límite óptimo establecido por la OMS todos los años. Para el periodo estudiado, la GAM cumple el objetivo intermedio 1 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para NO_2 y el objetivo intermedio 3 para PM_{10} ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) según los límites establecidos por la OMS.

Cabe destacar, que los límites máximos permitidos nacionales sobrepasan en gran medida los límites óptimos internacionales, y la normativa no sugiere una reducción progresiva de las concentraciones como sí la nueva guía de la OMS. La cual asegura una reducción en las tasas de eventos en salud relacionados a la calidad de aire con el cumplimiento gradual de cada uno de los objetivos intermedios, por ello es necesario dirigir esfuerzos para alcanzar las metas establecidas internacionalmente (OMS, 2021).

Se realizó un análisis espacial de estimaciones de la concentración de los contaminantes NO_2 y PM_{10} por medio del método IDW y Kriging, las cuales abarcaron 44 y 95 distritos de la GAM respectivamente. Algunas situaciones como la heterogeneidad de los puntos de muestreo limitaron la capacidad de englobar toda la GAM en las predicciones.

Como resultado se obtuvo que, un 59 % de los distritos se clasificaron como un nivel de exposición a NO_2 “muy alto” ($>40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), un 25 % como “alto” ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), un 9 % “medio” ($21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2 % “muy bajo” ($\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 1 % “bajo” ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los distritos con las concentraciones clasificadas como “muy alto” se localizaron principalmente en el este del área interpolada, abarcando principalmente: Carmen (10101), Merced (10102), Hospital (10103), Catedral (10104), Zapote (10105), San Francisco de Dos Ríos (10106), Mata Redonda (10108), Hatillo (10110), San Sebastián (10111), Desamparados (10301), San Miguel (10302), San Juan (11301), Cinco Esquinas (11302), Anselmo Llorente (11303), León XIII (11304), Colima (11305), San Vicente (11401), entre otros.

Según la interpolación de material particulado se determinó que un 75 % de los territorios tenían nivel de exposición “bajo” (16 a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), un 21 % “medio” (31 a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y un 4 % “muy bajo” ($\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ninguno de los distritos estudiados se posicionó en las categorías “alto” o “muy alto”. Los territorios con las concentraciones más altas, ubicados en la categoría de mediana exposición, se concentraron en el suroeste del área

interpolada, englobando: San Vicente (11401), Mercedes (11503), Santiago (30202), Mercedes (40102), San Francisco (40103), Ulloa (40104), Barva (40201), San Pablo (40203), San Roque (40204), Santo Domingo (40301), San Vicente (40302), San Miguel (40303), Santa Rosa (40306), San Rafael (40501), San Josecito (40502), Santiago (40503), entre otros.

Se observa un comportamiento diferenciado en la distribución de las concentraciones según la temporada. De igual manera se identificaron varias coincidencias espaciales entre las áreas con altas concentraciones y los espacios con alta densidad de edificaciones, red vial y áreas con mayores temperaturas. Asimismo, las áreas con menores concentraciones de NO_2 y PM_{10} poseían mayor cobertura forestal y más altos niveles de precipitación. Aunque existen estos patrones y coincidencias espaciales, para poder afirmar una asociación es necesario generar estudios que correlacionen estas variables en específico.

Al calcular los indicadores de salud por niveles de exposición se obtuvo que para suicidio y dióxido de nitrógeno no hay un incremento de los indicadores de mortalidad según se aumenta el nivel de exposición. Para la relación con PM_{10} , se observa un leve incremento, no obstante, en ninguno de los dos casos los resultados fueron significativos.

Un resultado similar se observó en el modelo de regresión binomial negativa en el que el suicidio obtuvo un IRR levemente mayor a 1,00, lo que demuestra una relación con los contaminantes positiva, pero débil, esta no fue significativa. Por lo que, en cuanto al trastorno del suicidio, no es posible rechazar ni aceptar con certeza la asociación.

En relación con el intento de suicidio y su nexo con dióxido de nitrógeno por nivel de exposición, considerando los valores significativos estadísticamente, se obtuvo que en el nivel de exposición “muy alto” y “medio” tuvieron mayor probabilidad de cometer intento de suicidio en comparación con los distritos del nivel “muy bajo”. El modelo generado dio como resultado una asociación positiva, pero no significativa entre los intentos de suicidio y NO_2 .

En el caso del material particulado no se constató que exista mayor probabilidad de ocurrencia del evento según el nivel de exposición (su relación fue más bien inversa), cuando se trata de los intentos de suicidio y los casos de depresión. Para PM_{10} el valor dado por el modelo de regresión tampoco fue significativo, por lo que los resultados no son concluyentes para la relación entre intento de suicidio y las variables independientes.

En cuanto a la depresión y los niveles de concentración de NO_2 se identificó un claro incremento de los indicadores de salud que concuerdan con el aumento de los

niveles de exposición al contaminante, solamente el nivel “bajo” no fue significativo estadísticamente, de igual manera los datos demostraron un comportamiento diferenciado según las concentraciones a las que la población se expuso. El modelo también evidenció una asociación positiva y significativa.

Por su parte la regresión ponderada geográficamente aplicada en esta última relación evidenció heterogeneidad en la capacidad de explicación de la variable independiente en la dependiente cuando se estudiaba espacialmente, 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.

Referente a la variación de las tasas según los niveles de exposición y las temporadas, se determina que hay un aumento de los indicadores en la temporada lluviosa en cada uno de los niveles de exposición para todos los trastornos, pero puede deberse a la extensión de los periodos. Esto no sucede de manera tan clara con dióxido de nitrógeno ya que solo en algunos de los niveles hay un comportamiento diferenciado.

Al ser los trastornos mentales multifactoriales y con rutas fisiológicas menos esclarecidas en comparación con otros eventos, resulta necesario identificar las variables asociadas y proponer estrategias de intervención. Este trabajo logró explorar la relación entre algunas variables ligadas a la salud mental y 2 contaminantes del aire en un área metropolitana.

No obstante, se presentaron ciertas limitaciones, por ejemplo, se utilizó toda la información disponible recibida por parte de los actores para el periodo estudio no obstante estas bases de datos presentaban algunos vacíos en el tiempo por fallos de estaciones o temas administrativos. Asimismo, la heterogeneidad espacial de los puntos de muestreo limitó las interpolaciones, aumentó la probabilidad de que se pierda información de otras áreas de estudio y redujo el número de distritos y la información disponible que alimentó el modelo de asociación.

Además, el no incluir otras variables relacionadas a la susceptibilidad individual o propias de las dinámicas ambientales limitaron la capacidad explicativa del modelo de asociación. Esto puede reforzarse en investigaciones posteriores a nivel individual.

A pesar de las limitantes, el desarrollo del presente estudio permitió fusionar las herramientas dadas por la formación académica en Salud Ambiental, especialmente en epidemiología ambiental como campo de acción para el estudio de eventos en salud mental y su conexión a ambientes saludables, específicamente a la calidad del aire. El diseño ecológico posibilitó explorar de manera oportuna una realidad que actualmente es

poco conocida a nivel nacional, logró establecer los primeros hallazgos exploratorios entre posibles asociaciones de las variables ambientales y los eventos mentales que ocurren en la GAM de Costa Rica.

No obstante, para que el conocimiento generado sea utilizado para acciones ambientales desde un enfoque preventivo de trastornos, es necesario replicar y mejorar este estudio a nivel nacional y regional, fortalecer a su vez el registro de los eventos (evitar subestimación) y las bases de datos de los contaminantes (evitar vacíos en el tiempo, homogenizar puntos de muestreo), así como reforzar ajuste de los modelos y esclarecer el marco epidemiológico, para el análisis.

Es preciso explorar aún más la asociación, indagar en otras posibles formas de configurar la relación con más variables explicativas. La contaminación del aire ha sido declarada por la OMS uno de los grandes factores que afectan la morbilidad y mortalidad a nivel internacional, por lo que el estudio de sus efectos en la salud humana es una tarea de importancia global.

5.2. Recomendaciones

Al considerar los resultados y limitaciones obtenidas se recomiendan las siguientes acciones:

- Se le sugiere al Laboratorio de Análisis Ambiental de la UNA, Ministerio de Salud, los gobiernos locales y actores relacionados trabajar en homogenizar la distribución de las estaciones o puntos de muestreo de calidad de aire de la GAM con la finalidad de abarcar más distritos y conocer el panorama completo de área metropolitana. Así como expandir el alcance de los contaminantes que la red engloba, para conocer el comportamiento y tendencia de la concentración de otros contaminantes criterio (SO₂, CO, O₃).
- Se incentiva a los gobiernos locales que al igual que la Municipalidad de Escazú, Belén y San José participen en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la GAM, con la finalidad de llevar un registro local que funcione como recurso diagnóstico para la elaboración de estrategias regulación de la salud ambiental. Actores como el Ministerio de Salud, la Unión Nacional de Gobiernos Locales y las instituciones académicas tienen la capacidad de comunicar la importancia y motivar a los gobiernos locales a formar parte de esta Red, la academia incluso podría brindar apoyo técnico desde diferentes espacios de participación estudiantil.
- A los actores encargados de la elaboración de los Informes de Calidad del Aire de la GAM se les recomienda incluir un análisis espacial de la concentración de los contaminantes que permita identificar posibles clústeres a través de los años, esto permitiría enfocar acciones ambientales y de salud basadas en evidencia.
- Al Ministerio de Salud, específicamente a la Dirección de Protección al Ambiente Humano y a otros actores involucrados, velar por la actualización de los límites máximo-permisibles del Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio N° 39951-S, acercándolos lo más posible a las recomendaciones internacionales. Esta acción obligaría a la población y a las instituciones a generar medidas para la reducción y mitigación de la contaminación que podría reflejarse en un descenso en las tasas de algunos trastornos y de otras enfermedades ligadas a la exposición a contaminantes aéreos.

- Al Laboratorio de Análisis Ambiental de la UNA, Ministerio de Salud y otros actores relacionados a la red de monitoreo de la calidad del aire del área metropolitana se les incentiva a brindar mayor accesibilidad y difusión al registro de datos de calidad del aire con la finalidad de facilitar y motivar la investigación en este aspecto ambiental y su impacto en la salud de la población de la GAM de Costa Rica. Además, se recomienda tener bases de datos con concentraciones de contaminantes en menores escalas de tiempo (incluso días), esto permitiría estudiar efectos a la salud agudos.
- A la Secretaría Técnica de Salud Mental del Ministerio de Salud se le recomienda incluir dentro de sus líneas de investigación y regulación la importancia de los determinantes ambientales (entre ellos la calidad del aire) en el estado de la salud mental, para generar evidencia y justificar la necesidad de controlar variables que puedan ser modificables, esta acción puede vincularse con actores del sector académico universitario.
- A los servicios de atención de salud mental del Ministerio de Salud o de la Caja Costarricense del Seguro Social evaluar la atención, intervención y detección en salud de los casos de suicidio, intento de suicidio y depresión, con mayor énfasis en los distritos que presentaron indicadores mayores a los nacionales.
- A los gobiernos locales se les incita a generar una política pública ambiental que englobe la calidad del aire de las comunidades (incluyendo monitoreo continuo, estudios diagnósticos), especialmente en aquellos cantones que engloben distritos en los que se hallaron mayores niveles de exposición.
- A futuros investigadores en el tema, sean actores institucionales o académicos, se les recomienda generar estudios individualizados en los que puedan examinar posibles efectos sinérgicos entre la contaminación del aire con otras características del ambiente construido (acceso a espacios verdes, capital social del barrio, cercanía de la vivienda a autopistas, medio de transporte activo), así como variables relacionadas a la susceptibilidad individual (historial familiar de trastornos, enfermedades cardiovasculares, presencia de comorbilidades mentales, entre otros). Incluso abarcando otros contaminantes.
- Las concentraciones promedio anuales de los contaminantes podrían haber camuflado una posible asociación a corto plazo entre los trastornos y eventos de contaminación picos o con mayores niveles de concentración como por ejemplo incendios forestales, por quema de residuos, entre otros. A futuro resultaría

interesante investigar la asociación entre la exposición aguda a altas concentraciones de contaminantes y sus efectos en la salud mental, mediante metodologías como un diseño de estudio cruzado de casos estratificado en el tiempo, el cual ha sido aplicado en otros países.

- Al sector salud es necesario tomar en consideración el comportamiento de los contaminantes según las temporadas, no solamente para estrategias en salud dirigidas a la atención de los trastornos estudiados, si no para acciones preventivas, atención e investigación de otras enfermedades que ya se han vinculado a la contaminación del aire (efectos respiratorios y cardiovasculares), por ejemplo, en el caso de material particulado resulta importante prestar atención a Heredia y aún más en la temporada lluviosa.
- A los actores encargados de la gobernanza climática de Costa Rica elaborar estudios sobre trastornos y enfermedades asociados con la variabilidad climática. Así como generar un sistema de información en salud, clima y ambiente que contribuya a la sensibilización del personal de salud y de la población en general.

VI. REFERENCIAS

- Alvarado, L., (2008). Perspectiva de Temporada de Empujes Fríos 2008-2009. Nota Técnica. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional, pp. 11.
- Araya, M., Pérez, M. y Quirós, O. (2020). Caracterización de la población usuaria y de los diagnósticos de la consulta individual de enfermería en salud mental, del Área de Salud San Sebastián-Paso Ancho, Costa Rica. *Población y Salud en Mesoamérica*, 17(2), 43-58. [doi:10.15517/PSM.V17I2.39800](https://doi.org/10.15517/PSM.V17I2.39800)
- Arrieta, A. (2016). Dispersión de material particulado (pm10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2), 43-54. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/586
- Asamblea Legislativa. (24 de noviembre, 1973). Ley General de Salud. Ley N° 5395. *La Gaceta*, (222) http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=6581&nValor3=96425&strTipM=TC
- 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>
- Blanco, C., Pinzón E., e Idrovo, J. (2015). Estudios ecológicos en salud ambiental: más allá de la epidemiología. *Biomédica*, 35 (2), 191-206. Recuperado de <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2819>
- Block, L. y Calderón, L. (2009). Air pollution: mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends Neurosci*, 32(9), 506-516. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.05.009>
- Bolaños, M. y Helo, F. (2015). Depresión en el adulto mayor costarricense y su relación con la autopercepción del estado de salud y desempeño funcional. *Revista Clínica de la Escuela de Medicina UCR – HSJD*, 5 (4), 78-87. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=61462>
- Bowatte, G., Lodge, C., Lowe, A., Erbas, B., Perret, M., Abrasom, M.J., Matheson, S., y Dharmage, S. (2015). The influence of childhood traf-c-related air pollution exposure on asthma, allergy, and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy*, 70 (3), 245–56. <https://doi.org/10.1111/all.12561>

- 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>
- Bronisch, T. y Wittchen, H. U. (1994). Ideación suicida e intentos de suicidio: comorbilidad con depresión, trastornos de ansiedad y trastorno por abuso de sustancias. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 244, 93–98. <https://doi.org/10.1007/BF02193525>
- Calderón, L., Azzarelli, B., Acuna, H., García R., Gambling TM., Osnaya, N., Monroy, S., Tizapantzi, M., Carson, J., Villareal, A. y Rewcastle, B. (2002). Air pollution and brain damage. *Toxicol Pathol*, 30(3), 373-389. <https://doi.org/10.1080/01926230252929954>
- Calderón, L., Franco, M., Henriquez, C., Osnaya, N., Gonzalez, A., Reynoso, R., Villarreal, R., Herritt, L., Brooks, D., Keefe, S., Moreno, J., Villareal, R., Torres, R., Medina, H., Delgado, R., Aiello, M., Maronpot, R. y Doty, R. (2010) Urban air pollution: influences on olfactory function and pathology in exposed children and young adults. *Exp Toxicol Pathol*, 62(1), 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.02.117>
- Calderón, L., Franco, M., Henriquez, C., Osnaya, N., Gonzalez, A., Reynoso, R., Villarreal, R., Herritt, L., Brooks, D., Keefe, S., Moreno, J., Villareal, R., Torres, R., Medina, H., Delgado, R., Aiello, M., Maronpot, R. y Doty, R. (2010) Urban air pollution: influences on olfactory function and pathology in exposed children and young adults. *Exp Toxicol Pathol*, 62(1), 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.02.117>
- Calderón, L., Mora, A., Ontiveros, E., Gomez, G., Barragán, G., Broadway, J., Chapman, S., Valencia, G., Jewells, V., Maronpot, R., Heriquez, C., Pérez, B., Torres, R., Herit, L., Brooks, D., Osnaya, N., Monroy, M., González, A., Reynoso, R...Engle, 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). La exposición prolongada a la contaminación del aire se asocia con neuroinflamación, una respuesta inmune innata alterada, alteración

- de la barrera hematoencefálica, depósito de partículas ultrafinas y acumulación de amiloide β -42 y α -sinucleína en niños y adultos jóvenes. *Patología toxicológica*, 36(2), 296–300. <https://doi.org/10.1177/0192623307313011>
- Calderón, L., Villarreal, R., Valencia, G., Henríquez C., Gutiérrez, P., Torres, R., Osnaya, N., Romero, L., Torres, R., Solt, A. y Reed, W. (2008c). Inflamación sistémica, disfunción endotelial y activación en niños clínicamente sanos expuestos a contaminantes del aire. *Inhal Toxicol*, 20(5), 499–506. <https://doi.org/10.1080/08958370701864797>
- Camilloni, I. y Vera, C. (2007). El aire y agua en nuestro planeta (1ª ed.). Universidad de Buenos Aires. https://elibro.net/es/lc/elibrocom/titulos/101409?fs_q=El%20aire%20y%20agua%20en%20nuestro%20planeta%20&prev=fs_Cañada.
- Cañada, R., M., Moreno, A. y Gonzalez, L. (2014). Modelado de la calidad del aire urbano. Un experimento metodológico con técnicas de interpolación espacial. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 65, 317-342. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/670056>
- Campbell I. (2007). Chi-squared and Fisher-Irwin tests of two-by-two tables with small sample recommendations. *Statistics in medicine*, 26(19), 3661–3675. <https://doi.org/10.1002/sim.2832>
- Casas, L., Cox, B., Bauwelinck, M., Nemery, B., Deboosere, P. y Nawrot, TS. (2017). Does air pollution trigger suicide? A case-crossover analysis of suicide deaths over the life span. *Eur J Epidemiol*, 32(11), 973–981. <https://doi.org/10.1007/s10654-017-0273-8>.
- Cely, J., Siabato, W., Sánchez, A. y Rangel, A. (2002). Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental. *Revista ingeniería*, 7 (2), 31-38. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4797355>
- Chamizo, H. (2019). Concepto de riesgo relativo multivariado. Métodos de Estandarización de Tasas. [Presentación académica]. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Charlton, M. y Fotheringham, S. (2009). Geographically Weighted Regression, White Paper. *National Centre for Geocomputation*. Maynooth, Co Kildare, Ireland, pp. 1-13. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/fspat/gwr/gwr_arcgis/GWR_WhitePaper.pdf

- Cho, J., Choi, YJ., Suh, M., Sohn, J., Kim, H., Cho, SK. y Chun, D. (2014). Air pollution as a risk factor for depressive episode in patients with cardiovascular disease, diabetes mellitus, or asthma. *Revista de trastornos afectivos*, 157, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.01.002>.
- Clifford, A., Lang, L., Chen, R., Anstey, K., y Seaton, A. (2016). Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course – A systematic literature review. *Environmental Research*, 147, 383-398. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.018>
- Cochran, N. (2014). Detection of Urban Heat Islands in the Great Lakes Region with Globe Student Surface Temperature Measurements (Master of Art Degree in Geography, University of Toledo). https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?p10_etd_subid=100305&clear=10
- Comisión Técnica Interinstitucional sobre Estadísticas de Convivencia y Seguridad Ciudadana. (2019). ESTADO DEL SUICIDIO EN COSTA RICA. PERIODO 2014-2018.
- Consejo de ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana (s.f). Observatorio Centroamericano y República Dominicana de la Conducta Suicida Comisca.net. http://comisca.net/content/observatorio_suicidio
- Courtenay, W. (2003). Key Determinants of the Health and the Well-Being of Men and Boys. McLean Hospital, Harvard Medical School. *International Journal of Men's Health*, 2(1), 1-26.
- Dagnino, J. (2014). Riesgo relativo y odds ratio (razón de ventajas). *Revista Chilena de Anestesia*, 43 (4), 317-321. <https://revistachilenadeanestesia.cl/riesgo-relativo-y-razon-de-ventajas/>
- Environmental Protection Agency. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Urban Heat Island Basics. <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium>
- ESRI. (2016a). Cómo funciona Kriging. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
- ESRI (2016b). 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. (2018a). Regresión ponderada geográficamente (GWR). <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/geographically-weighted-regression.htm>
- ESRI. (2018b). Cómo funciona Regresión ponderada geográficamente (GWR). <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/how-geographicallyweightedregression-works.htm>
- Fajardo, A. (2017). Medición en epidemiología: prevalencia, incidencia, riesgo,
- 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. <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.
- Friedman, E. y Anderson, I. (2014). *Handbook of depression*. Springer healthcare. <https://www.springer.com/gp/book/9781907673788>.
- Furczyk, K., Schutová, B., Tanga, 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>
- Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcianuño, R., Bravo, J., Pradana, J., García, M. y Durand, J. (2012). *Contaminación atmosférica*. UNED.
- 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>
- García, R. (2011). Interdisciplinarietà y sistemas complejos. Ciencias sociales y formación ambiental. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 1(1), 85-124.
- Gavidia, V., y Talavera, M. (2012). La construcción del concepto de salud. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 1 (26), 161-175. <https://doi.org/10.7203/dces.26.1935>
- 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>

- Giannuzzo, A. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Scientiae Studia*, 8(1), 129-156. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662010000100006>
- 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. [doi: 10.17219/acem/149988](https://doi.org/10.17219/acem/149988)
- Gómez, A. (2012). Evaluación del riesgo de suicidio: enfoque actualizado. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23 (5), 607-615. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(12\)70355-3](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(12)70355-3)
- Guadarrama, L., Escobar, A., y Zhang, L. (2006). Bases neuroquímicas y neuroanatómicas de la depresión. *Revista De La Facultad De Medicina UNAM*, 49(2), 66-71. <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2006/un062h.pdf>
- Guxens, M., y Sunyer, J. (2012). A review of epidemiological studies on neuropsychological effects of air pollution. *Swiss Med Wkly*, 141, 1-7. [10.4414 / smw.2011.13322](https://doi.org/10.4414/sm.w.2011.13322)
- Hernández, M., Garrido, F., y Salazar, E. (2000). Sesgos en estudios epidemiológicos. *Salud Pública De México*, 5(42), 438-446. <https://www.scielosp.org/article/spm/2000.v42n5/438-446/es/#ModalArticles>.
- Holmberg, B., Högberg, J., y Johanson, G. (1998). *Toxicología. In enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales <https://www.insst.es/documents/94886/161958/Sumario+del+Volumen+I/18ea3013-6f64-4997-88a1-0aadd719faac>
- Hong, Y., Lee, J., Kim, H. y Kwon, H. (2002). Air Pollution. *Stroke: Journal of the American Heart Association*, 33 (9), 2165-2169.
- Huidobro, Á. (2014). *Manual CTO medicina y cirugía: Psiquiatría*. CTO EDITORIAL.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2008). El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Comité Regional de Recursos Hidráulicos. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://users.clas.ufl.edu/prwaylen/g_eo3280articles/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- Jalón, E., y Peralta, V. (2002). Suicidio y riesgo de suicidio. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 25 (3), 87-96.

- Jaramillo, F., Sánchez, A., y Martínez, R. (2009). *Toxicología ambiental*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- 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>
- Kessler, C., Angermeyer, M., Anthony, J. C., Graaf, R., Demyttenaere, K., Gasquet, I., Girolamo, G., Gluzman, S., Gureje, O., Haro, J. M., Kawakami, N., Karam, A., Levinson, D., Mora, M. E., Browne, M. A., Villa, J., Stein, D. J., Adley, C. H., Aguilar, S., Lee, S., Heeringa, S., Pennell, B. E., Berglund, P., Gruber, M. J., Petukhova, M., Chatterji, S., Ustün, T. B. (2007). Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of mental disorders in the World Health Organization's World Mental Health Survey Initiative. *World Psychiatry*, 6(3), 168-76. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2174588/>
- Kim, Y., Kim, H., Honda, Y., Guo, YL., Chen, BY., Woo, JM., y Ebi, K. (2016). Suicide and ambient temperature in east Asian countries: a time-stratified case-crossover analysis. *Environ Health Perspect*, 124(1), 75–80. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409392>
- Kim, J., & Kim, H. (2017). Demographic and environmental factors associated with mental health: A cross-sectional study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(4), 431. <https://doi.org/10.3390/ijerph14040431>
- Kim, Y., Ng, C., Chung, Y., Honda, Y., Guo, Y., Chen, B., Lim, Y., Page, L. y Hashizume, M. (2018) Air Pollution and Suicide in 10 Cities in Northeast Asia: A Time-Stratified Case-Crossover Analysis. *Perspectives of Environmental Health*, 126 (3), 1-9. <https://doi.org/10.1289/EHP2223>
- 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>.
- Koren, H. (2017). *Best Practices for Environmental Health*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781315119274>
- Koren, H., y Bisesi, M. (2002). *Handbook of environmental health, 4th ed.; v.1: Biological, chemical, and physical agents of environmentally related disease*. Scitech Book News. <https://doi.org/10.1201/9780849377952>

- Labaka, A., Goñi-Balentiaga, O., Lebeña, A. y Pérez, J. (2018). Biological Sex Differences in Depression: A Systematic Review. *Biological Research for Nursing*, 20(4), 383-392. [doi:10.1177/1099800418776082](https://doi.org/10.1177/1099800418776082)
- 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>
- Lin, Z., Li, L., Song, F., Zhou., X, Shen, Q., y Ou, Q. (2016). The impact of ambient air pollution on suicide mortality: a case-crossover study in Guangzhou, China. *Environmental Health*, 15(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0177-1>.
- Łopuszańska, U., y Studzińska, M. (2017). The correlations between air pollution and depression. Medical University of Lublin. *Curr Probl Psychiatry*, 18 (2), 100-109. 10.1515/cpp-2017-0009
- Macaya, X., Pihan, R., y Parada, B. (2018). Evolución del constructo de Salud mental desde lo multidisciplinario. *Humanidades Médicas*, 18(2), 215-232. <http://www.humanidadesmedicas.sld.cu/index.php/hm/article/view/1191>
- Manterola, C. y Otzen, T. (2015). Los Sesgos en Investigación Clínica. *International Journal of Morphology*, 33(3), 1153-1164. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v33n3/art56.pdf>
- Martínez, J., Iglesias, M., Pérez, A., Curbeira, E., y Sánchez, O. (2014). Environmental health, historical conceptual evolution and basic areas. *Rev Cubana Salud Pública*, 40(4), 403-411. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?IDARTICULO=53808>
- 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>
- medidas de impacto. *Rev Alerg Mex*, 64(1), 109-120.

- Miller, K., Siscovick, D., Shepard, L., Pastor, K., Sullivan, J., Anderson, G. y Kaufman, J. (2007). Exposición a largo plazo a la contaminación del aire e incidencia de eventos cardiovasculares en mujeres. *N. engl. J. Med*, 356 (5), 447–458. [10.1056/NEJMoa054409](https://doi.org/10.1056/NEJMoa054409)
- Mingote, J. C. (2004). *Suicidio: asistencia clínica*. Ediciones Díaz de Santos.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2011). Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Volumen 2, carretera, propuesta de Desarrollo Vial. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/33f1f8e8-f7b8-41ab-883c-4d7bac2b4ba5/Carretera.pdf?MOD=AJPERES](https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/33f1f8e8-f7b8-41ab-883c-4d7bac2b4ba5/Carretera.pdf?MOD=AJPERES)
- Ministerio de Salud (2016a). 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.
- Ministerio de Salud. (2016b). Boletín Estadístico de Enfermedades de Declaración Obligatoria en Costa Rica del año 2015. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/vigilancia-de-la-salud/estadisticas-y-bases-de-datos/notificacion-individual/3167-boletin-de-morbilidad-enfermedades-de-declaracion-obligatoria-2015-2/file>
- 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). https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/586/
- Mitchell, C. (2014). OMS estima que 7 millones de muertes ocurrieron cada año debido a la contaminación atmosférica. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es
- 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. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnp/v48n1/art07.pdf>
- Moreno, A., López, S., y Chorco, A. (2000). Principales medidas en epidemiología. *Rev salud pública de México*, 42 (4), 337-348. <http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/sapu/wp-content/uploads/2015/11/epibasica-spm.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>
- Mühlfeld, C., Rothen-Rutishauser, B., Blank, F., Vanhecke, D., Ochs, M. y Gehr, P. (2008). Interactions of nanoparticles with pulmonary structures and cellular responses. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physio.* 294(5), L817-L829. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00442.2007>
- Murray, C., Abate, D., Abate, K., Abaya, S., Abafati, C., Abbasi, N., Abbastabar, H., Abera, S., Afarideh, M., Abdelalim, A., Abdollahpour, I., Suliankatchi, R., Abebe, Z., Abera, S., Zewdie, O., Niguse, H., Abu-Raddad, L., Abu-Raddad, N,.... Vos, T. (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\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
- Naarding, P., Schoevers, R., Janzing, J., Jonker, C., Koudstaal, P. y Beekman, A. (2005). A study on symptom profiles of late-life depression: The influence of vascular, degenerative, and inflammatory risk-indicators. *J. Affect. Disorder.*, 88 (2), 155–162.
- 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>
- Nock, M., Hwang, I., Sampson, N. y Kessler, R. (2010). Trastornos mentales, comorbilidad y conducta suicida: resultados de la replicación de la encuesta nacional de comorbilidad. *Mol Psychiatry*, 15, 868–876. <https://doi.org/10.1038/mp.2009.29>
- Nowak, D. (2002). The effects of urban trees on air quality. USDA Forest Service, Syracuse. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nrs.fs.fed.us/units/urban/local-resources/downloads/Tree_Air_Qual.pdf
- Nwokoro, C., Ewin, C., Harrison, C., Ibrahim, M., Dundas, I., Dikson, I., Mushtaq, N. y Grigg, J. (2012) Cycling to work in London and inhaled dose of black carbon. *Eur Respir J.* 40(5), 1091-1097. [10.1183/09031936.00195711](https://doi.org/10.1183/09031936.00195711)
- Oighenstein, L. (2017). Degradación de la calidad del aire e incendios forestales. [Presentación académica]. Global Consortium on Climate and health Education, Columbia Mailman School of Public Health.

- Organización de las Naciones Unidas. (sf) Cambio climático - Desarrollo Sostenible.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Organización de las Naciones Unidas. (sf). Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Organización Mundial de la Salud. (2013). Plan de acción sobre salud mental 2013-2020.
http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/97488/9789243506029_spa.pdf?sequence=1
http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/97488/9789243506029_spa.pdf?sequence=1
- Organización Mundial de la Salud. (2014). Preventing suicide: a global imperative. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
https://www.who.int/mental_health/suicide-prevention/world_report_2014/en/#:~:text=lt%20aims%20to%20increase%20awareness,in%20a%20multisectoral%20public%20health
- Organización Mundial de la Salud. (2016a). Cada año mueren 12,6 millones de personas a causa de la insalubridad del medio ambiente.
<https://www.who.int/es/news/item/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments>
- Organización Mundial de la Salud. (2016b). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Vivien Stone.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204585/9789241565196_eng.pdf;jsessionid=60F0A4C83D00ED51393F9BF5B9C2201A?sequence=1
- Organización Mundial de la Salud. (2016c). Prevención de la conducta suicida.
<https://iris.paho.org/handle/10665.2/31167>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Día Mundial de la Salud Mental 2017. – La salud mental en el lugar de trabajo. https://www.who.int/mental_health/world-mental-health-day/2017/es/
- Organización Mundial de la Salud. (2018a). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud.
[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)
- Organización Mundial de la Salud. (2018b). Salud, medio ambiente y cambio climático Proyecto de estrategia mundial de la OMS sobre salud, medio ambiente y cambio climático: transformación necesaria para mejorar la forma sostenible de las

- condiciones de vida y el bienestar mediante la creación de ambientes saludables.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/328610>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Suicidio. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/suicide>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Depresión. World Health Organization. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/depression>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). WHO global air quality guidelines Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.
- Organización Panamericana de la Salud. (2011). Módulos de principios de epidemiología para el control de enfermedad (Vols. 3). Oficina Sanitaria Panamericana.
- Organización Panamericana de la Salud. (Sf). Costa Rica - OPS apoya al país en la prevención del suicidio. https://www.paho.org/costa-rica/index.php?option=com_content&view=article&id=383:ops-apoya-pais-prevencion-suicidio&Itemid=314
- Peñas, C., Carter, D., y Fierro, F. (2001). Toxicología ambiental Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Southwest Hazardous Waste Program. <https://www.superfund.arizona.edu/textbook>
- Poder Ejecutivo. (01 de noviembre, 2016). Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio. Decreto N° 39951-S. *La Gaceta*, (239). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=82827&nValor3=106098&strTipM=TC
- Poder Ejecutivo. (17 de octubre, 2018). Oficialización y declaratoria de interés público y nacional de la "Estrategia Nacional para el Abordaje Integral del Comportamiento Suicida 2016-2021". Decreto N°41287. *La Gaceta*, (191). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=87390&nValor3=113847&strTipM=FN
- Poder Ejecutivo. (20 de julio, 2011). Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto. Decreto N° 36551-S. *La Gaceta*, (140). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=70715
- Power, MC., Kioumourtzoglou, MA., Hart, JE., Okereke, OI., Laden, F. y Weisskopf, MG. (2015). The relation between past exposure to fine particulate air pollution and

- prevalent anxiety: observational cohort study. *The bmj*, 350, 1-8. <https://doi.org/10.1136/bmj.h1111>
- Poynter M. (2012). Airway epithelial regulation of allergic sensitization in asthma. *Pulm Pharmacol Ther*, 25 (6), 438–46B. <https://doi.org/10.1016/j.pupt.2012.04.005>
- 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>
- Repetto, M., y Repetto, G. (2009). *Toxicología Fundamental*. Diaz de Santos https://kupdf.net/download/toxicolog-iacute-a-fundamental-repetto-4a-edici-oacute-n_59f497d2e2b6f5ad20cbdb5b_pdf
- Restrepo., O y Jaramillo, E. (2012). Concepciones de salud mental en el campo de la salud pública. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30 (2), 202–211. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v30n2/v30n2a09.pdf>
- Reyes, T. y Hernández, E. (2017). Depresión: situación actual. *Revista de la facultad de medicina humana*, 17(3), 78-85. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v17.n3.1197>
- Riojas, H., Álamo, U., Texcalac, J., y Romieu, I. (2014). Health impact assessment of decreases in PM₁₀ and ozone concentrations in the Mexico City Metropolitan Area. A basis for a new air quality management program. *Salud Pública De México*, 56 (6), 579-591. <https://doi.org/10.21149/spm.v56i6.7384>
- Roldan, E. (2016). *Introducción A La Toxicología*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.researchgate.net/publication/331269448_Introduccion_a_la_toxicologia
- Rückerl, R., Greven, S., Ljungman, P., Aalto, P., Charalambos, A., Belander, T., Berglind, N., Chrysohoou, C., Forastiere, F., Jacquemin, B, Von, S., Wolfgang, K., Kuchenhoff, T., Pekkanen, J., Perucci, C., Schneider, A., Suyer, J. y Petters, A. (2007) Air pollution and inflammation (interleukin-6, C-reactive protein, fibrinogen) in myocardial infarction survivors. *Environ Health Perspect*, 115 (7), 1072-1080. <https://doi.org/10.1289/ehp.10021>.
- Sequeira, A., Blanco, M. y Brenes, J.C. (2022). La depresión mayor en Costa Rica: aspectos epidemiológicos y psicobiológicos. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2). [10.15517/psm.v0i19.48038](https://doi.org/10.15517/psm.v0i19.48038)

- Shin, J., Park, JY. y Choi, J. (2018) Long-term exposure to ambient air pollutants and mental health status: A nationwide population-based cross-sectional study. *PLoS ONE*, 13 (4), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195607>
- StataCorp. (sf). Negative binomial regression. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.stata.com/manuals/rnbreg.pdf>
- StataCorp. (2021). Shapiro–Wilk and Shapiro–Francia tests for normality. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.stata.com/manuals/rswilk.pdf>
- Swiston, JR., Davidson, W., Attridge, S., Li, GT., Brauer, M., y Eeden, SF. (2008). Wood smoke exposure induces a pulmonary and systemic inflammatory response in firefighters. *Eur Respir J*, 32 (1), 129-138. [10.1183/09031936.00097707](https://doi.org/10.1183/09031936.00097707)
- Szyszkowicz, M. (2007). Air pollution and emergency department visits for depression in Edmonton, Canada. *Int J Occup Med Environ Health*, 20 (3), 241–245. [10.2478 / v10001-007-0024-2](https://doi.org/10.2478/v10001-007-0024-2).
- Szyszkowicz, M., Kousha, T., Kingsbury, M y Colman, I. (2016). Air pollution and emergency department visits for depression: a multicity case-crossover study. *Environ Health Insights*, 10, 155–161. <https://doi.org/10.4137/EHI.S40493>
- Szyszkowicz, M., Rowe, BH. y Colman, I. (2009). Air pollution and daily emergency department visits for depression. *Int J Occup Med Environ Health*, 22 (4), 355–362. [10.2478/v10001-009-0031-6](https://doi.org/10.2478/v10001-009-0031-6)
- Szyszkowicz, M., Willey, J., Grafstein, E., Rowe, B., y Colman, I. (2010). Air Pollution and Emergency Department Visits for Suicide Attempts in Vancouver, Canada. *Environmental Health Insights*, 4, 79-86. [10.4137/EHI.S5662](https://doi.org/10.4137/EHI.S5662)
- 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), Environmental health insights, 4 (1). https://primo-tc-na01.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/1n8vhrc/TN_cdi_bioone_primary_10_1_177_EHI_S5662
- Tamagawa, E. y Eeden, SF. (2006) Impaired lung function and risk for stroke: role of the systemic inflammation response? *Chest*, 130 (6), 1631-1633. <https://doi.org/10.1378/chest.130.6.1631>

- Tonelli, L., Stiller, J., Rujescu, D., Giegling, I., Schneider, B., Maurer, K., Schnabel, M., Moller, H., Chen, H. y Postolache, T. (2007). Elevated cytokine expression in the orbitofrontal cortex of victims of suicide. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 117(3), 198-206. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.2007.01128.x>
- Tuesca, R. y Navarro, E. (2003). Factores de riesgo asociados al suicidio e intento de suicidio. *Salud Uninorte. Barranquilla*, 17, 19-28.
- Uribe, J. (2013). El concepto de salud y enfermedad: Una reflexión filosófica. *CES Medicina*, 27(2), 255-260. <https://search-proquest-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/scholarly-journals/el-concepto-de-salud-y-enfermedad-una-reflexión/docview/1504840412/se-2?accountid=28692>
- Uribe, M. (2014). Depresión. En *Avances en psiquiatría desde un modelo biopsicosocial* (pp. 73-108). Universidad de los Andes.
- Vargas, A., y Palacios, V. (2014). *Ciencias de la salud 1*. Grupo Editorial Patria. <https://www.editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074387179.pdf>
- Vargas, H., y Saavedra, J. (2012). Factores asociados con la conducta suicida en adolescentes. *Rev Neuropsiquiatr*, 75 (1), 19-28. <https://doi.org/10.20453/rnp.v75i1.1539>
- Vázquez, R. (2017). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Patria.
- 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
- Vigo, D., Thornicroft, G. y Atun, R. (2016). Estimating the true global burden of mental illness. *Lancet Psychiatry*, 3 (2), 171-178. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(15\)00505-2](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(15)00505-2).
- Villasís, M., Márquez, H., Zurita, J., Miranda, G., y Escamilla, A. (2018). El protocolo de investigación VII. Validez y confiabilidad de las mediciones. *Revista Alergia México*, 65 (4), 414-421. <https://doi.org/10.29262/ram.v65i4.560>
- Wallace, A. (2001) *Principles and methods of toxicology*. Editorial Taylor y Francis.
- 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.

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.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Recopilación de estudios de exposición a largo plazo a la contaminación atmosférica y los resultados en la salud mental de personas adultas 2007-2019.

Autor y año	Definición de caso	Área de estudio	Población en riesgo	Casos (número de casos)	Edad (años)	Tiempo de seguimiento	Tipo de contaminante y concentración promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Principales hallazgos*
Kim et al., 2016	Incidencia de depresión- primer diagnóstico de depresión mayor con prescripción de un antidepresivo	Seúl, República de Corea	2 727	973	19 a 79	3 años (2008 a 2010)	PM _{2.5} : 26,7	Asociación significativa en todas las exposiciones, dentro del período de estudio con un RR de 1,47 (IC del 95 % 1,14 a 1,90) por un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM _{2.5}
Kim y Kim, 2017	-	25 distritos de Seúl, República de Corea	23 139	1 675	≥ 19	Realizado con una base de datos del 2013	PM ₁₀ : 44,6	Asociación significativa con un OR de 1,01 (IC 95 % 0,98 a 1,05) por un incremento del 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM ₁₀ .
Kiourmourtzoglou et al., 2017	Incidencia depresiva- con el primer diagnóstico de un médico o por utilización de medicación depresiva	USA	41 844	5 003	50 a 75	14 años (1996–2008)	PM _{2.5} : 12,06	Asociación dada por casos con diagnóstico médico con un HR = 0,98 (IC 95 %: 0,84 a 1,15) y por la utilización de medicamentos antidepresivos con un HR: 1,08 (IC 95 %: 0,97 a 1,20)
Lin et al., 2016	Prevalencia de la depresión identificada por: presencia de síntomas depresivos en el último año, haber sufrido atención médica relacionada a la depresión.	China, Ghana, India, México, Rusia Sudáfrica	41 785	3 189	>18	Realizado con encuestas y base de 3 datos con una media de los últimos 3 años antes de la encuesta (2007-2010)	PM _{2.5} : 23,75	Relación positiva y significativa entre la depresión y la contaminación ambiental por PM _{2.5}

Zijlema et al., 2016	Síntomas depresivos identificados por medio de entrevista diagnóstica MIIINI (≥ 5 síntomas y ≥ 1 síntoma clave)	Europa (4 cohortes)	5 314	87	≥ 18	Se utilizaron datos de los años 2004–2005, 2006–2008.	PM _{2.5} , no se indica la concentración	Asociación positiva para PM _{2.5} con un OR: 1,06 (IC 95 %: 0,25-4,51) por 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Power et al., 2015	Personas diagnosticadas como fóbicas y con síntomas generalidades de ansiedad con una puntuación ≥ 6 en "Crown Crisp Index phobic anxiety subscale"	USA	71 271 en total: 69 966 exposición válida de datos	10 818	57 a 85	Se utilizaron datos de encuestas	PM _{2.5} (1988-2003): 13,8 PM _{2.5} (1 mes): 12,7	Asociación positiva y significativa, en una exposición de 1 año se obtuvo OR: 1,15 (IC 95 %: 1,06 a 1,25) por 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Pun et al., 2017	Prevalencia de trastorno depresivo moderado-severo (≥ 9 en CESD-11) y síntomas de ansiedad (puntuación ≥ 8 en HADS-A)	USA	4 008	1,433 con síntomas de depresión y 983 con síntomas de ansiedad	57-85	-	PM _{2.5} : 11,1 (ola de estudio 1) y 8,8 (ola de estudio 2)	Asociación positiva y significativa en síntomas depresivos, OR (1 año): 1,06 (IC 95 %: 0,89 a 1,27) por 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual manera, asociación positiva y significativa con los síntomas de ansiedad con un OR (1 año): 1,39 (IC 95%: 1,15 a 1,69), por 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Bakian et al., 2015	Todas las muertes por suicidio registradas hasta la fecha del estudio	Salt Lake County, Utah, USA	-	1 546	Todas las edades	11 años (2000 a 2010)	PM _{2.5} : 10,95 a 11,38 PM ₁₀ : 32,21 a 33,21	Asociación positiva y significativa con PM _{2.5} e incrementa para PM ₁₀ .
Casas et al., 2017	Todas las muertes por suicidio, autolesión intencional e intención de suicidio registradas	Bélgica	-	21 231	Todas las edades	10 años (2002 a 2011)	PM ₁₀ : 29,0	Asociación positiva y significativa durante todo el año, con mayor fuerza en verano.
Cho et al., 2014	Todas las asistencias a urgencias por un episodio depresivo	Seúl, República de Corea	-	4 985	Todas las edades	4 años (2005 a 2009)	PM ₁₀ : 54,15	Asociación positiva y significativa en un modelo del mismo día (retraso 0), solo significativo para los participantes con cualquier de las comorbilidades incluida en el desfase acumulativo 0 a 3)

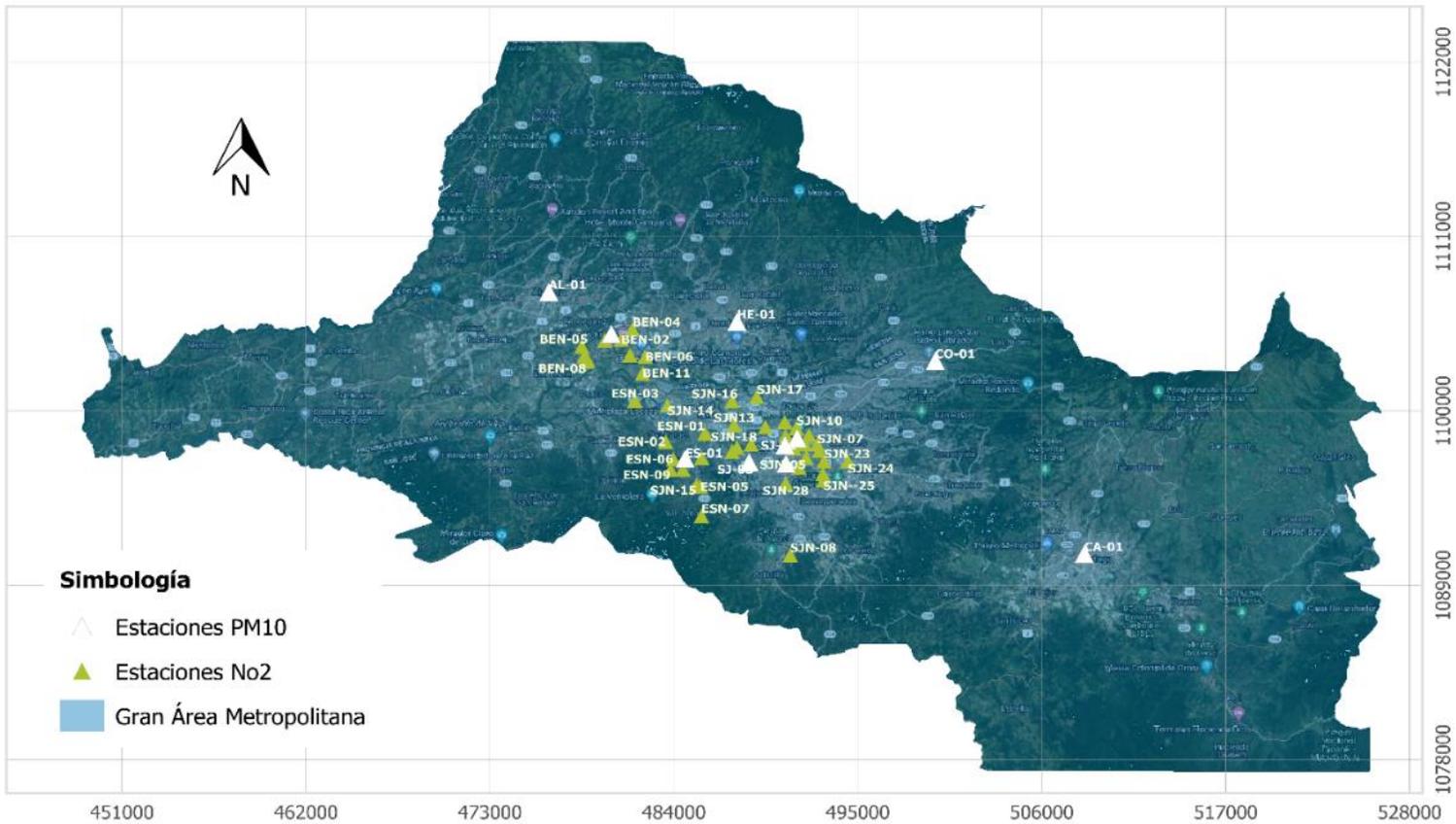
Szyszkowicz, 2007	Todas las asistencias a urgencias por un episodio depresivo	Edmonton, Canadá	-	15 556	Todas las edades	10 años (1992 a 2002)	PM ₁₀ : 22,6 PM _{2.5} : 8,5	Asociación positiva y significativa durante todos los años con PM ₁₀ , asociación positiva en rezagos 0 y 1, para PM _{2.5} , con excepción de desfase 2.
Szyszkowicz et al., 2009	Todas las asistencias a urgencias por un episodio depresivo	6 ciudades de Canadá	-	27 047	Todas las edades	Promedio de 6 años en cada sitio de estudio (suma total, en todos los sitios equivalente a 37,5 años)	PM ₁₀ : 19,4; PM _{2.5} : 8,3	Asociación positiva y significativa para PM ₁₀ (retraso 0) y positiva para PM _{2.5} (retraso 0)
Szyszkowicz et al., 2016	Visitas urgencias por depresión incluso las descritas como leve y depresión recurrente, asimismo se incluye también, todo trastorno mental y conductual	9 áreas urbanas en Ontario, Canadá	-	118 602	Todas las edades	7,5 años y (abril 2004- diciembre 2011)	PM _{2.5} (rango): 5,3 a 9,8	Los resultados fueron dados por estratos por sexo, se obtuvo una relación positiva para el estrato masculino en los rezagos 0 a 5, 7 a 8 y para las mujeres en los rezagos 0 y 2 a 7, mayormente significativo para los hombres en el retraso 3.
Ng et al., 2016	Se extrajeron todos los datos de suicidio consolidados en Tokio entre enero 2001 ha diciembre del 2011 de la base de datos de mortalidad del Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar.	Tokio	102 105	29 939	Todas las edades	11 años 2001 a 2011	PM _{2.5} (rango para casos): 20,82 a 20,89 SO ₂ (rango para casos): 3,55 a 3,56 ppb NO ₂ (rango para casos): 36,60 a 36,54ppb	Se evidenció que un aumento en la concentración de NO ₂ aumenta la probabilidad de mortalidad por suicidio entre los menores de 30 años (cambio porcentual: 6,73 %, IC del 95 %: 0,69 a 13,12 %). Asimismo, PM 2.5 y SO ₂ se asoció con un aumento del 10,55 % (IC del 95 %: 2,05 a 19,75 %) y del 11,47 % (IC del 95 %: 3,60 % a 19,93 %), respectivamente, con mayor fuerza en las personas viudas.

Kim et al., 2018	<p>Se extrajeron los datos de suicidio, envenenamiento intencional, autolesión según la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y problemas de salud, registros de defunción de las Estadísticas de Corea, Ministerio de Estrategia y finanzas en Corea del Sur, así como datos del Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón.</p>	<p>10 grandes ciudades de Corea del Sur, Japón y Taiwán</p>	<p>Todas las ciudades se consideraban grandes porque la población era más de 2,000,00 habitantes</p>	<p>- Todas las edades</p>	<p>4 ciudades de Corea del Sur: 10 años (2001 al 2012) 3 ciudades de Japón: 30 años (1979 al 2009) 3 ciudades de Taiwán: 14 años (1994 al 2007) Seúl: 8 años (2002 a 2010) Tokio: 6 años y dos meses (2001 al 2008) Tapei: 2 años (2006-2007) 4 ciudades de Corea del Sur: 10 años (2001 al 2012) 3 ciudades de Japón: 30 años (1979 al 2009) 3 ciudades de Taiwán: 14 años (1994 al 2007) Seúl: 8 años (2002 al 2010) Tokio: 6 años y dos meses (2001 al 2008) Tapei: 2 años (2006 al 2007)</p>	<p>Las asociaciones con todos los contaminantes fueron positivas incluso cuando se ajustaron a lo demás contaminantes estudiados.</p>
------------------	--	---	--	-------------------------------	---	---

*Nota: RR y OR son métodos para conocer la relación entre dos variables. Un RR o OR mayor a 1 evidencia un aumento del riesgo y uno menor que 1 indica una relación débil o de factor protector (Dagnino, 2014).

Fuente: Elaboración propia con datos de “Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis ((Braithwaite et al., 2019) y todos los autores citados.

Anexo 2. Distribución de las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire del Gran Área Metropolitana, del 2016 al 2019



Elaborado por: Bach. Mónica Jiménez Seas con datos tomados del Ministerio de Salud y el Laboratorio de Análisis Ambiental, 2021

Anexo 3. Validación del modelo: errores de la predicción

Contaminante	Errores	Kriging	IDW
NO ₂	Error medio	0,07	0,2
	Media cuadrática	11,04	10,56
	Error medio (Validación)	0,08	1,03
PM ₁₀	Error medio	0,41	0,64
	Media cuadrática	9,56	9,02
	Error medio (Validación)	0,2	-0,3

Fuente: elaboración propia, 2022

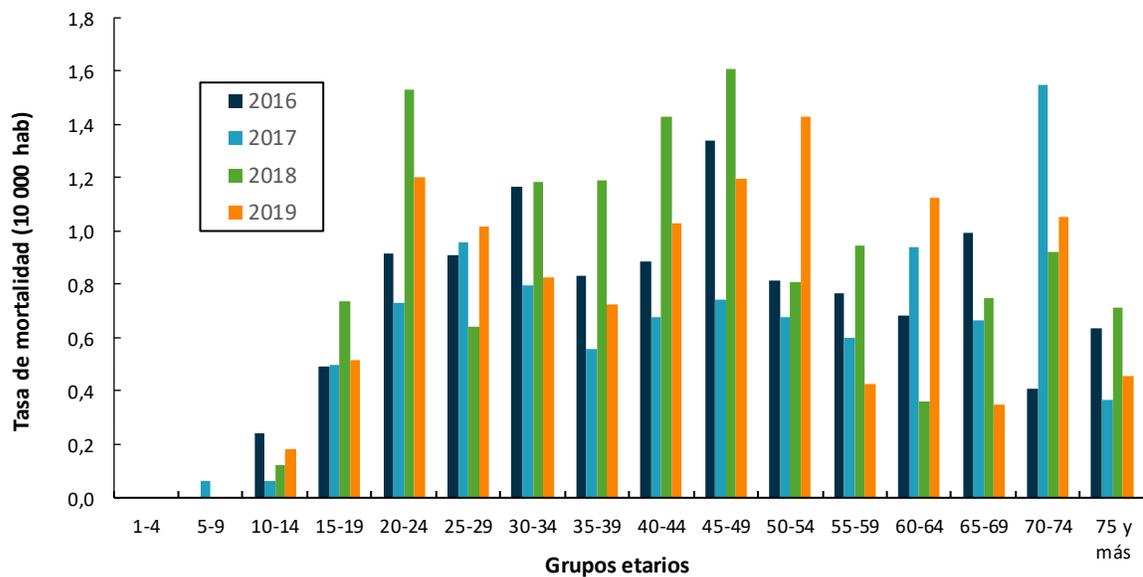
Anexo 4. Resumen de resultados de índice de Moran para los contaminantes estudiados

Contaminación	Índice de Moran	Puntuación Z	Valor P
NO ₂	0,070436	2,672614	0,007526
PM ₁₀	-0,099229	0,066299	0,94714

*Valor $p < 0,05$: se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, el atributo analizado está agrupado espacialmente (en este caso solo NO₂).

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 5. Tendencia de la tasa de mortalidad por suicidio según grupo quinquenal para el periodo del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia, 2021.

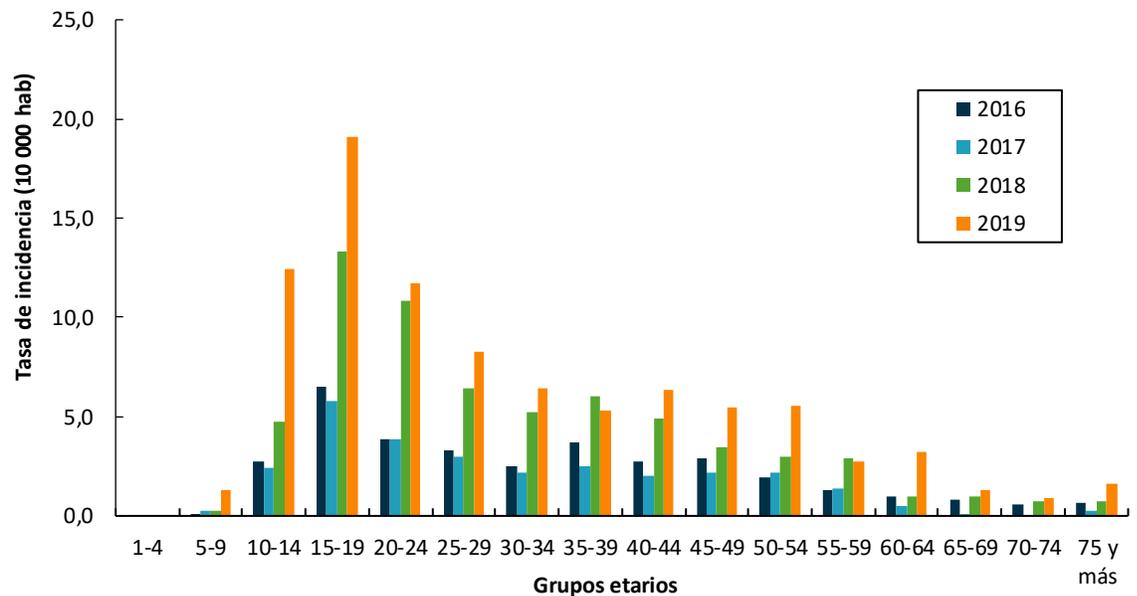
Anexo 6. Resumen de resultados de índice de Moran para los trastornos en estudio

Trastorno	Índice de Moran	Puntuación Z	Valor P
Suicidio	-0,007764	-0,038791	0,969057
Intento de suicidio	0,031567	1,36199	0,173201
Depresión	0,070436	2,672614	0,007526

Nota: si el valor $p < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, el atributo analizado está agrupado espacialmente (en este caso solo la depresión).

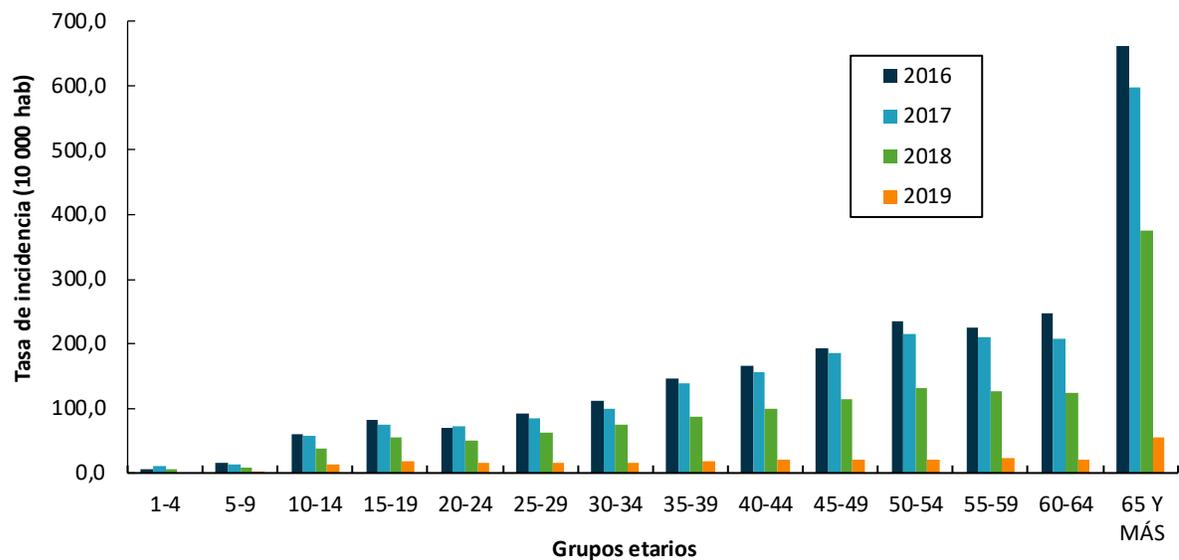
Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 7. Tendencia de la tasa de incidencia por intento de suicidio por grupo quinquenal para el periodo del 2016 al 2019



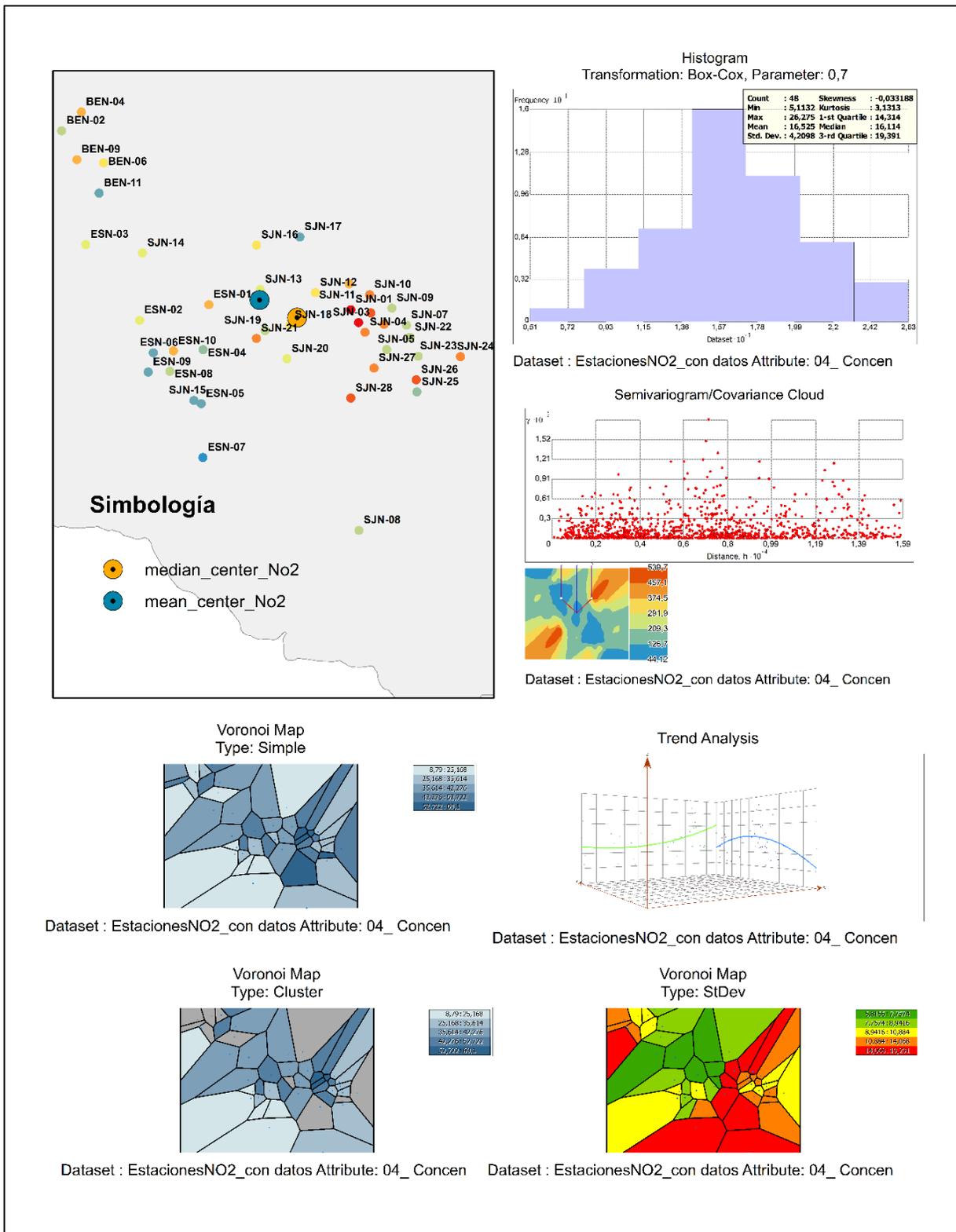
Fuente: elaboración propia, 2021.

Anexo 8. Tendencia de la tasa de incidencia por depresión por grupo quinquenal para el periodo del 2016 al 2019



Fuente: elaboración propia, 2021.

Anexo 9. Gráficos resumen de la exploración de datos de concentración de NO₂



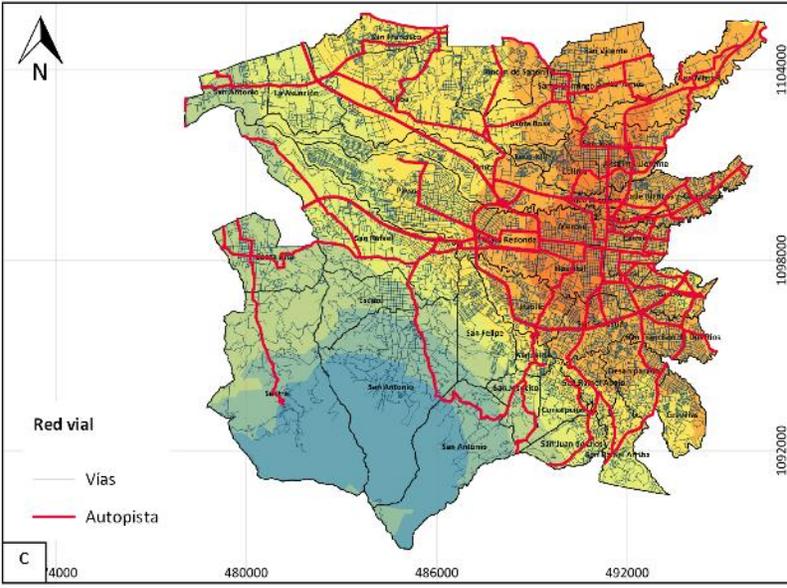
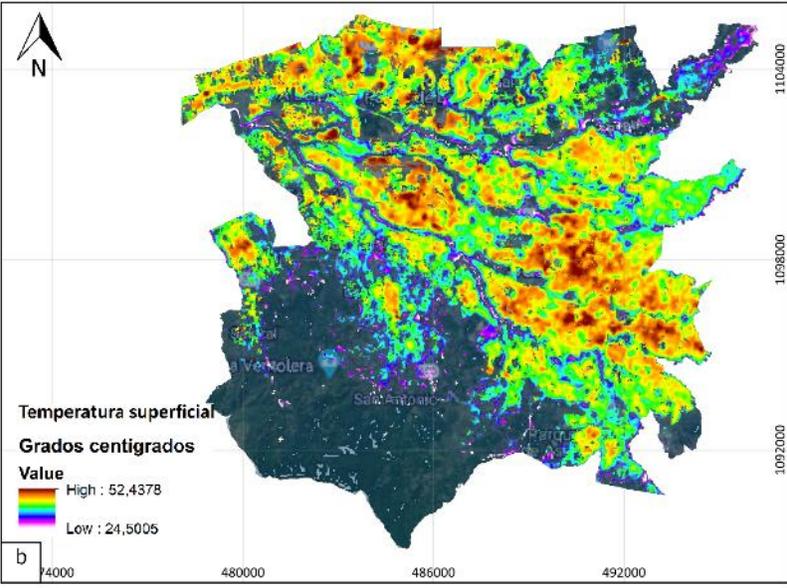
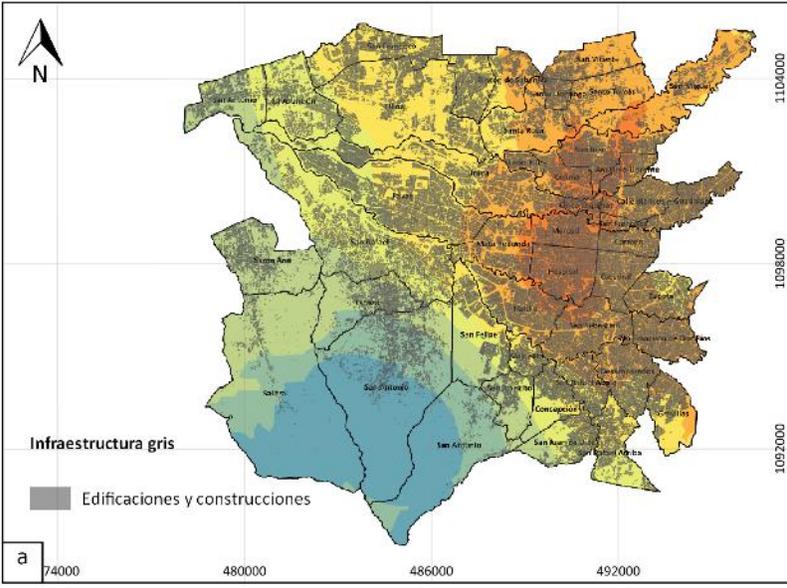
Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 10. Distritos incluidos en interpolación de concentraciones de dióxido de nitrógeno.

Código	Provincia	Cantón	Distrito
10303	San José	Desamparados	San Juan de Dios
10304	San José	Desamparados	San Rafael Arriba
11003	San José	Alajuelita	San Antonio
10312	San José	Desamparados	Gravilias
11002	San José	Alajuelita	San Josecito
11004	San José	Alajuelita	Concepción
10311	San José	Desamparados	San Rafael Abajo
10301	San José	Desamparados	Desamparados
11001	San José	Alajuelita	Alajuelita
			San Francisco de Dos
10106	San José	San José	Ríos
10202	San José	Escazú	San Antonio
10111	San José	San José	San Sebastián
10902	San José	Santa Ana	Salitral
10201	San José	Escazú	Escazú
10105	San José	San José	Zapote
11005	San José	Alajuelita	San Felipe
10110	San José	San José	Hatillo
10104	San José	San José	Catedral
10103	San José	San José	Hospital
10101	San José	San José	Carmen
10901	San José	Santa Ana	Santa Ana
10802	San José	Goicoechea	San Francisco
10108	San José	San José	Mata Redonda
10102	San José	San José	Merced
11302	San José	Tibás	Cinco Esquinas
10803	San José	Goicoechea	Calle Blancos
10801	San José	Goicoechea	Guadalupe
11303	San José	Tibás	Anselmo Llorente
11304	San José	Tibás	León XIII
10109	San José	San José	Pavas
11305	San José	Tibás	Colima
10107	San José	San José	Uruca
10203	San José	Escazú	San Rafael
11301	San José	Tibás	San Juan
40301	Heredia	Santo Domingo	Santo Domingo
40306	Heredia	Santo Domingo	Santa Rosa
40701	Heredia	Belén	San Antonio
40305	Heredia	Santo Domingo	Santo Tomás
40104	Heredia	Heredia	Ulloa
40703	Heredia	Belén	La Asunción
40902	Heredia	San Pablo	Rincón de Sabanilla
40302	Heredia	Santo Domingo	San Vicente
40303	Heredia	Santo Domingo	San Miguel
40103	Heredia	Heredia	San Francisco

Fuente: elaboración propia, 2022

Anexo 11. Variables ambientales antropogénicas en el área de alcance de la interpolación de concentraciones de NO₂



a. Edificaciones y construcciones

b. Temperatura superficial de la infraestructura gris (°C)

c. Red vial

*Área delimitada por el alcance de la interpolación de NO₂

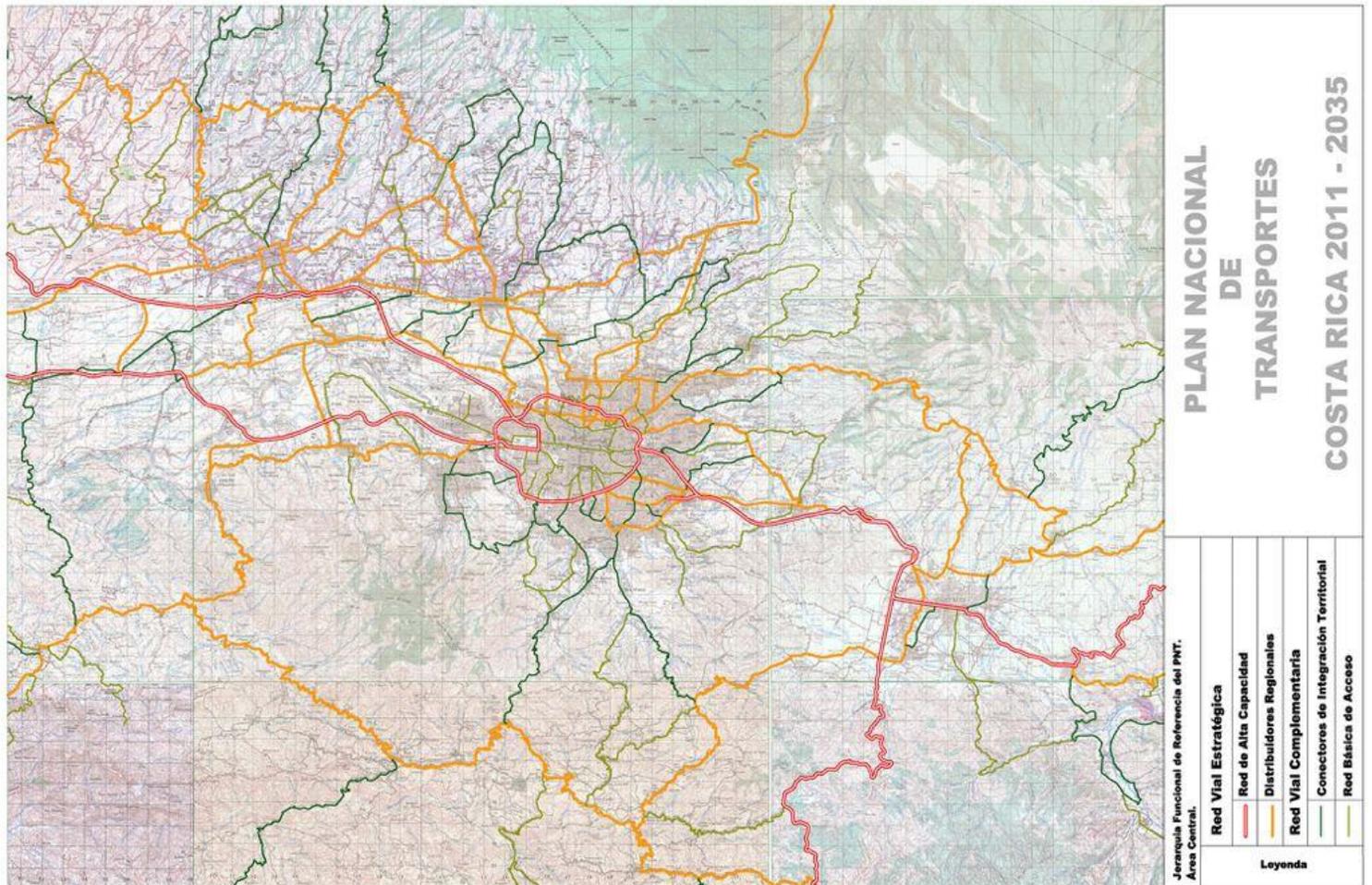
Tomado de: Sistema Nacional de Información Territorial y Landsat 8

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

Escala: 1:100000

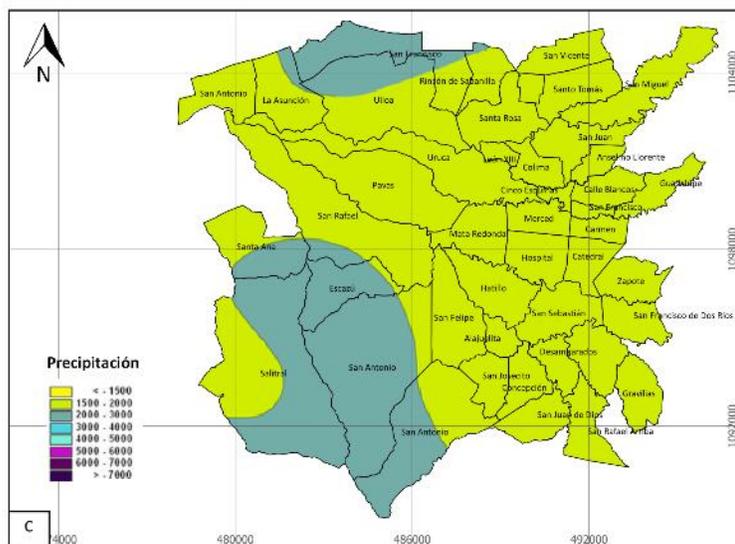
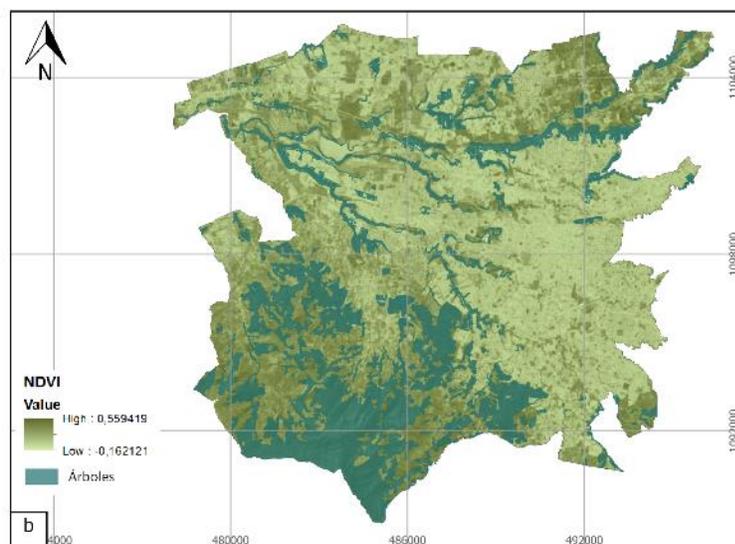
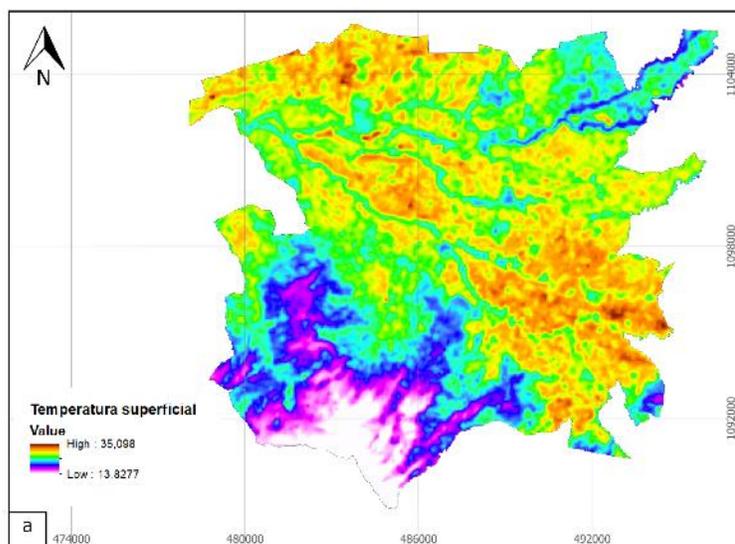
Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 12. Red vial estratégica de tránsito siguiendo la jerarquía funcional del Plan Nacional de Transportes del 2011 al 2015 del Área Central



Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2011.

Anexo 13. Variables ambientales y climatológicas en el área de alcance de la interpolación de concentraciones de NO₂



a. Temperatura superficial (°C)

b. Índice de vegetación y cobertura vegetal

c. Precipitación promedio anual (mm)

*Área delimitada por el alcance de la interpolación de NO₂

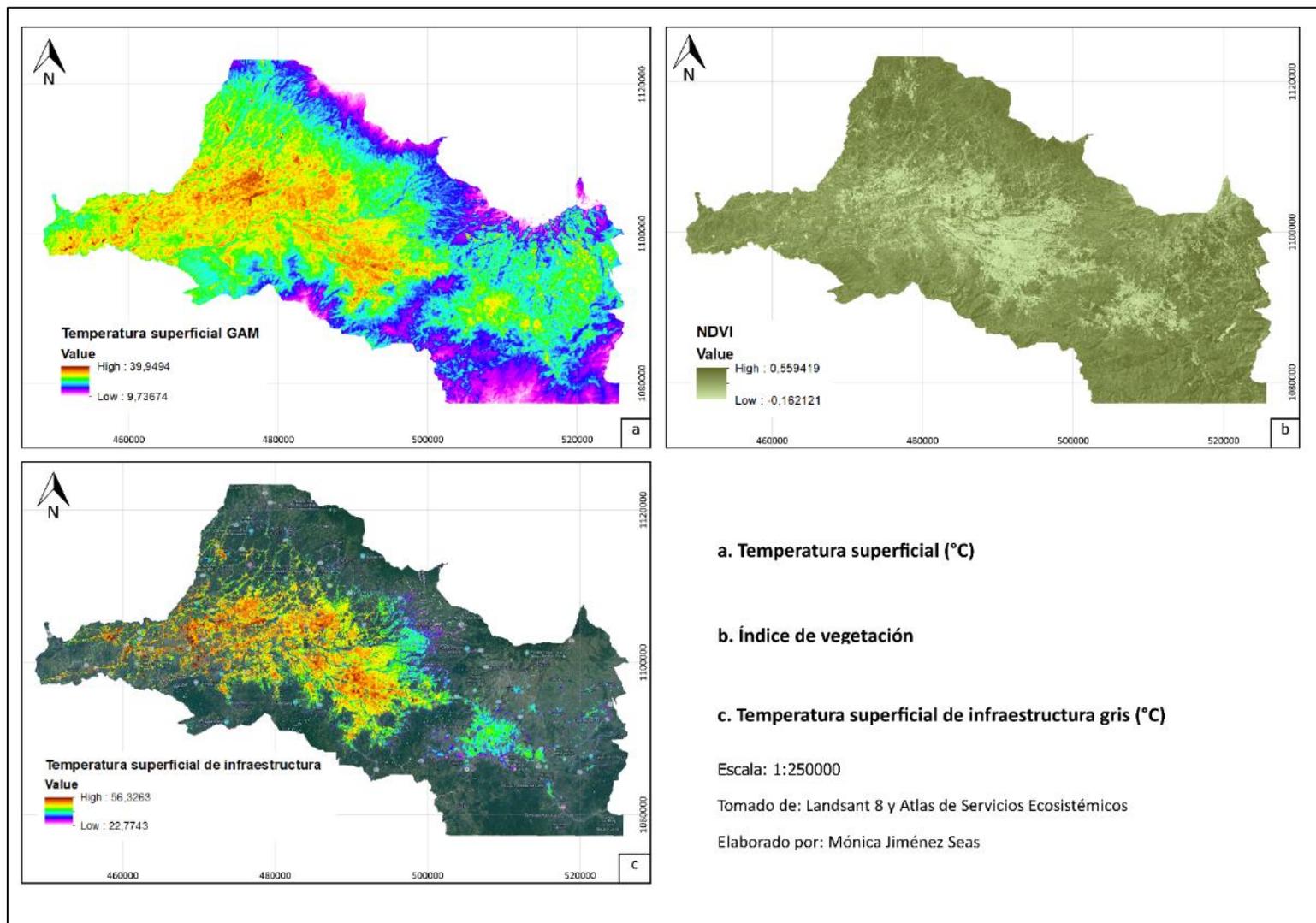
Tomado de: Landsat 8 y Atlas climatológico del IMN

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

Escala: 1:100000

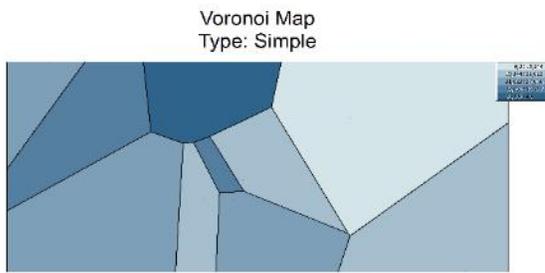
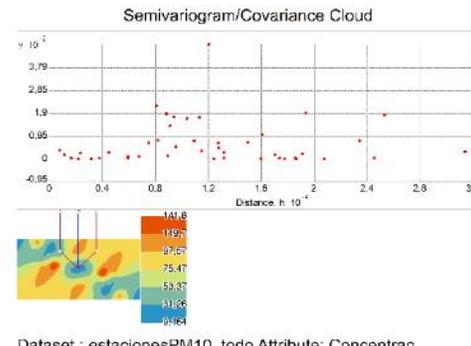
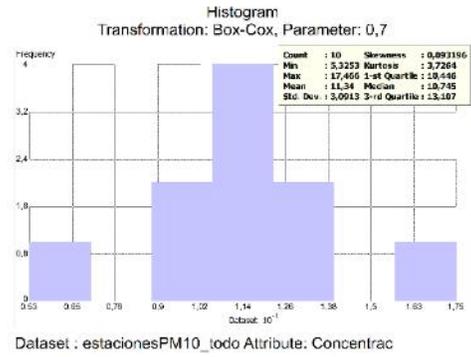
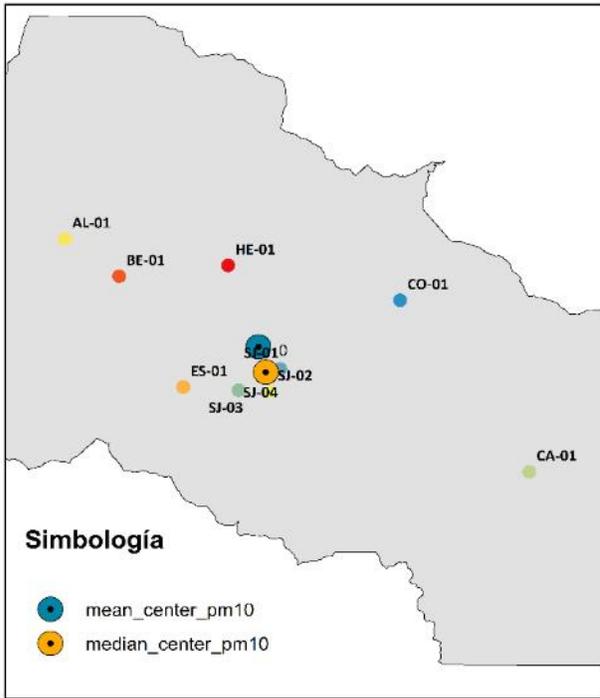
Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 14. Variables ambientales del Gran Área Metropolitana

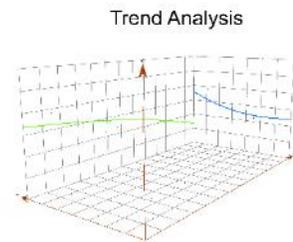


Fuente: elaboración propia, 2022.

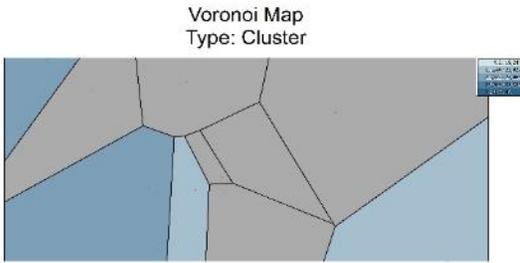
Anexo 15. Gráficos resumen de la exploración de datos de concentración de PM₁₀



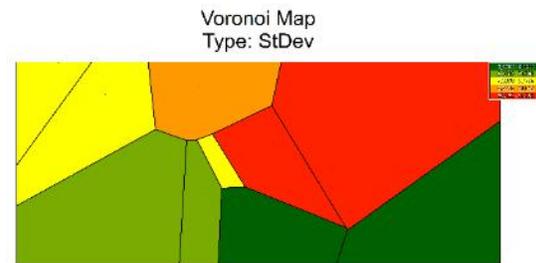
Dataset : estacionesPM10_todo Attribute: Concentrac



Dataset : estacionesPM10_todo Attribute: Concentrac



Dataset : estacionesPM10_todo Attribute: Concentrac



Dataset : estacionesPM10_todo Attribute: Concentrac

Fuente: elaboración propia, 2022.

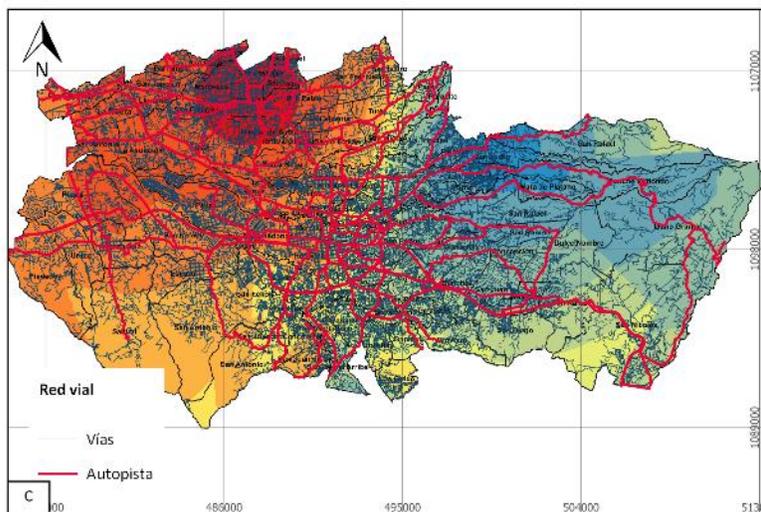
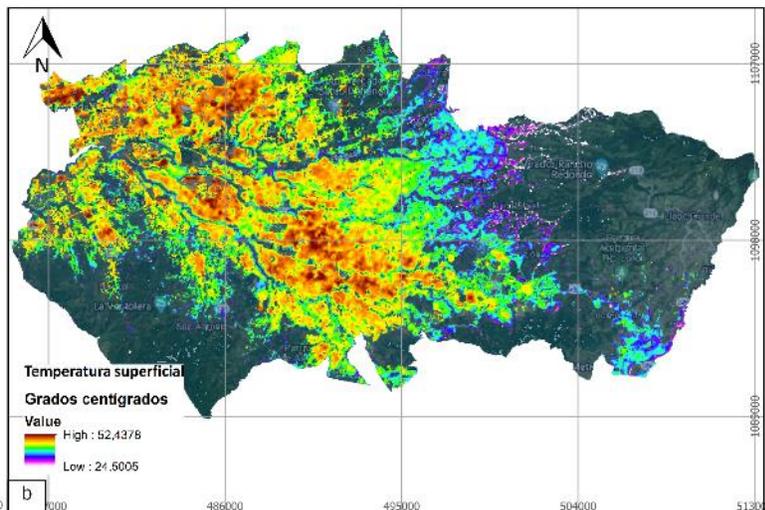
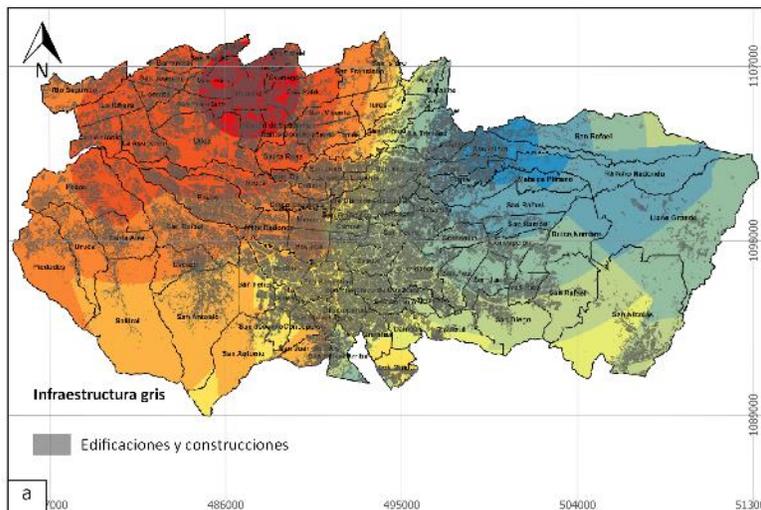
Anexo 16. *Distritos incluidos en interpolación de concentraciones de material particulado fino.*

Código	Provincia	Cantón	Distrito
10303	San José	Desamparados	San Juan de Dios
30308	Cartago	La Unión	Río Azul
10310	San José	Desamparados	Damas
10312	San José	Desamparados	Gravilias
11002	San José	Alajuelita	San Josecito
11004	San José	Alajuelita	Concepción
10305	San José	Desamparados	San Antonio San Rafael
10311	San José	Desamparados	Abajo
30302	Cartago	La Unión	San Diego
10301	San José	Desamparados	Desamparados
11804	San José	Curridabat	Tirrasas
11001	San José	Alajuelita	Alajuelita
30301	Cartago	La Unión	Tres Ríos San Francisco de Dos Ríos
10106	San José	San José	San Sebastián
10111	San José	San José	San Sebastián
30304	Cartago	La Unión	San Rafael
30303	Cartago	La Unión	San Juan
10201	San José	Escazú	Escazú
10105	San José	San José	Zapote
11801	San José	Curridabat	Curridabat
11803	San José	Curridabat	Sánchez
11005	San José	Alajuelita	San Felipe
10110	San José	San José	Hatillo
10104	San José	San José	Catedral
10103	San José	San José	Hospital
30305	Cartago	La Unión	Concepción
11802	San José	Curridabat	Granadilla
10101	San José	San José	Carmen
30307	Cartago	La Unión	San Ramón
10901	San José	Santa Ana	Santa Ana
10905	San José	Santa Ana	Piedades
11501	San José	Montes de Oca	San Pedro
10802	San José	Goicoechea	San Francisco
10108	San José	San José	Mata Redonda
10102	San José	San José	Merced
10904	San José	Santa Ana	Uruca
30306	Cartago	La Unión	Dulce Nombre
11503	San José	Montes de Oca	Mercedes
11302	San José	Tibás	Cinco Esquinas
11502	San José	Montes de Oca	Sabanilla
10803	San José	Goicoechea	Calle Blancos
11504	San José	Montes de Oca	San Rafael
10801	San José	Goicoechea	Guadalupe Anselmo
11303	San José	Tibás	Llorente
11304	San José	Tibás	León XIII
10109	San José	San José	Pavas
10804	San José	Goicoechea	Mata de Plátano
11305	San José	Tibás	Colima
10807	San José	Goicoechea	Purrál

10805	San José	Goicoechea	Ipis
30110	Cartago	Cartago	Llano Grande
10107	San José	San José	Uruca
10203	San José	Escazú	San Rafael
11301	San José	Tibás	San Juan
10903	San José	Santa Ana	Pozos
			Rancho
10806	San José	Goicoechea	Redondo
11401	San José	Moravia	San Vicente
		Vázquez de	
11101	San José	Coronado	San Isidro
40301	Heredia	Santo Domingo	Santo Domingo
		Vázquez de	
11104	San José	Coronado	Patalillo
40306	Heredia	Santo Domingo	Santa Rosa
40701	Heredia	Belén	San Antonio
40305	Heredia	Santo Domingo	Santo Tomás
40104	Heredia	Heredia	Ulloa
		Vázquez de	
11102	San José	Coronado	San Rafael
40703	Heredia	Belén	La Asunción
11403	San José	Moravia	La Trinidad
			Rincón de
40902	Heredia	San Pablo	Sabanilla
40302	Heredia	Santo Domingo	San Vicente
40303	Heredia	Santo Domingo	San Miguel
40103	Heredia	Heredia	San Francisco
40803	Heredia	Flores	Llorente
40702	Heredia	Belén	La Ribera
40307	Heredia	Santo Domingo	Tures
40101	Heredia	Heredia	Heredia
40801	Heredia	Flores	San Joaquín
40901	Heredia	San Pablo	San Pablo
40503	Heredia	San Rafael	Santiago
20109	Alajuela	Alajuela	Río Segundo
40304	Heredia	Santo Domingo	Paracito
40308	Heredia	Santo Domingo	Pará
40102	Heredia	Heredia	Mercedes
40502	Heredia	San Rafael	San Josecito
40802	Heredia	Flores	Barrantes
40204	Heredia	Barva	San Roque
40501	Heredia	San Rafael	San Rafael
40604	Heredia	San Isidro	San Francisco
40201	Heredia	Barva	Barva
40601	Heredia	San Isidro	San Isidro
10313	San José	Desamparados	Los Guido
			San Rafael
10304	San José	Desamparados	Arriba
11003	San José	Alajuelita	San Antonio
10202	San José	Escazú	San Antonio
10902	San José	Santa Ana	Salitral
30104	Cartago	Cartago	San Nicolás

Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 17. Variables ambientales antropogénicas en el área de alcance de la interpolación de concentraciones de PM_{10}



a. Edificaciones y construcciones

b. Temperatura superficial de la infraestructura gris

c. Red vial

*Área delimitada por el alcance de la interpolación de PM_{10}

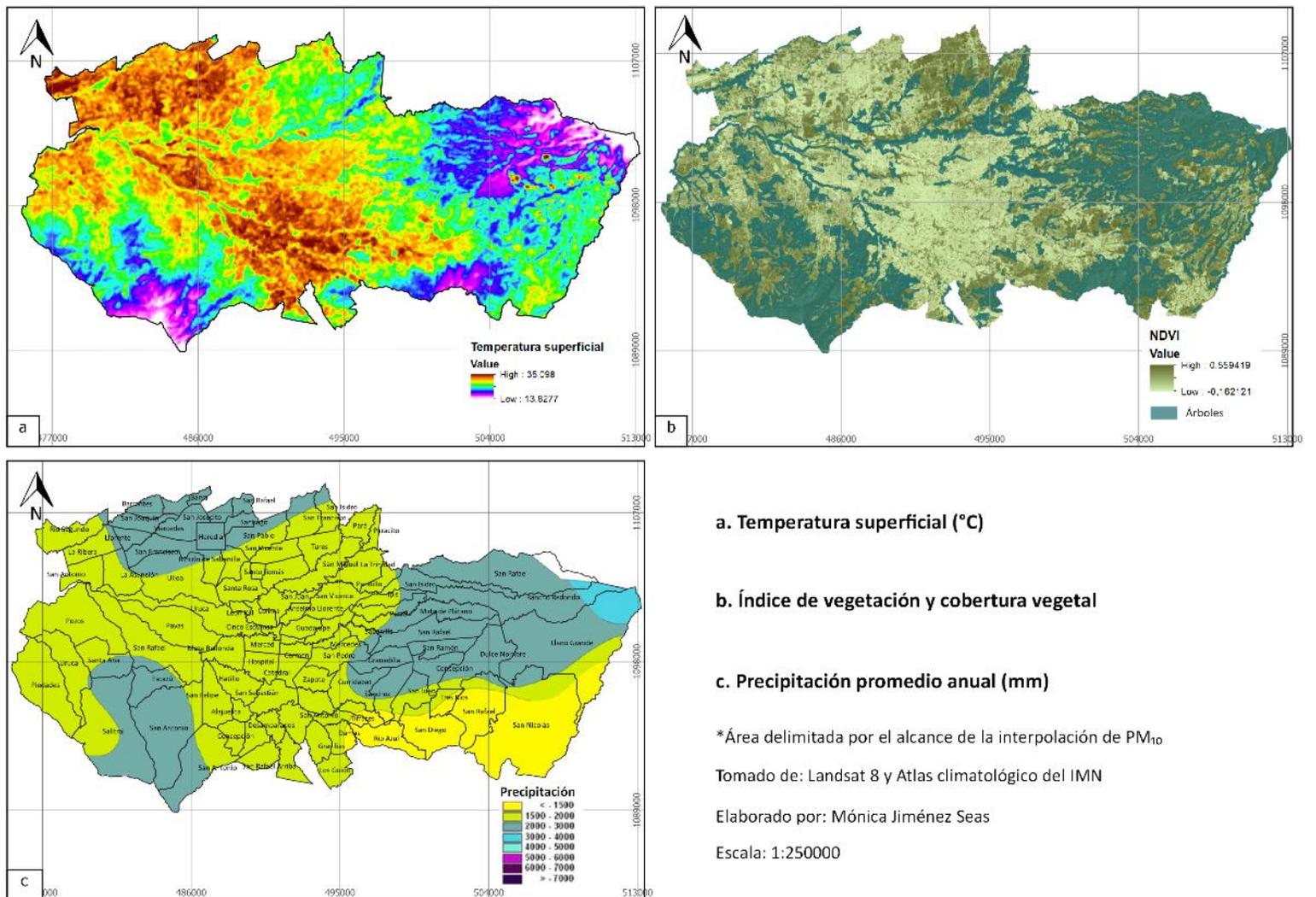
Tomado de: Sistema Nacional de Información territorial y Landsat 8

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

Escala: 1:250000

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 18. Variables ambientales y climatológicas en el área de alcance de la interpolación de concentraciones de PM₁₀



a. Temperatura superficial (°C)

b. Índice de vegetación y cobertura vegetal

c. Precipitación promedio anual (mm)

*Área delimitada por el alcance de la interpolación de PM₁₀

Tomado de: Landsat 8 y Atlas climatológico del IMN

Elaborado por: Mónica Jiménez Seas

Escala: 1:250000

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 19. Número de distritos según nivel de exposición a los contaminantes PM_{10} y NO_2 basado en los datos del periodo del 2016-2019

Nivel de exposición	Número de distritos			
	NO_2		PM_{10}	
	Absoluto	Relativo (%)	Absoluto	Relativo (%)
Muy alto	26	59	0	0
Alto	11	25	0	0
Medio	4	9	20	21
Bajo	1	2	71	75
Muy bajo	2	5	4	4
Total	44	100	95	100

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 20. Cuadro-resumen de tasas de trastornos y nivel de exposición a NO₂ y a PM₁₀ por distrito de la GAM para el periodo del 2016 al 2019

Código	Distrito	Tasas de mortalidad e incidencia			Niveles de exposición según interpolaciones	
		Suicidio	Intento de suicidio	Depresión	NO ₂	PM ₁₀
10101	Carmen	0,98	13,49	516,42	Muy alto	Bajo
10102	Merced	0,47	0,9	24,4	Muy alto	Bajo
10103	Hospital	0,30	3,32	80,08	Muy alto	Bajo
10104	Catedral	0,71	3,24	145,81	Muy alto	Bajo
10105	Zapote	0,14	1,63	109,4	Muy alto	Bajo
10106	San Francisco De Dos Ríos	0,26	1,69	43,83	Muy alto	Bajo
10107	Uruca	0,27	0,17	16,78	Alto	Bajo
10108	Mata Redonda	0,30	1,29	37,16	Muy alto	Bajo
10109	Pavas	0,30	1,93	26,86	Alto	Bajo
10110	Hatillo	0,32	1,95	46,05	Muy alto	Bajo
10111	San Sebastián	0,42	1,5	44,49	Muy alto	Bajo
10201	Escazú	0,22	0,65	25,4	Media	Bajo
10202	San Antonio	0,33	0,95	11,4	Muy bajo	Bajo
10203	San Rafael	0,39	0,7	8,18	Alto	Bajo
10301	Desamparados	0,27	1,7	60,77	Muy alto	Bajo
10302	San Miguel	0,46	1,4	34,42	Muy alto	Bajo
10303	San Juan De Dios	0,17	1,07	35,7	Alto	Bajo
10304	San Rafael Arriba	0,34	1,21	20,75	Alto	Bajo
10305	San Antonio	0,27	1,84	29,29	-	Bajo
10307	Patarra	0,28	0,76	15,67	-	-
10310	Damas	0,00	0,85	12,91	-	Bajo
10311	San Rafael Abajo	0,15	1,06	31,54	Muy alto	Bajo

10312	Gravilias	0,18	0,32	48,42	Alto	Bajo
10313	Los Guidos	0,27	1,18	8,24	-	-
10601	Aserri	0,47	1,28	74,67	-	-
10607	Salitrillos	0,40	0,52	25,77	-	-
10701	Colon	0,41	2,3	32,39	-	-
10801	Guadalupe	0,44	2,4	47,28	Muy alto	Bajo
10802	San Francisco	0,42	0,74	5,95	Muy alto	Bajo
10803	Calle Blancos	0,13	1,13	18,34	Muy alto	Bajo
10804	Mata de Plátano	0,20	1,76	39,46	-	-
10805	Ipís	0,16	3,88	99,9	-	Muy bajo
10806	Rancho Redondo	0,97	5,23	128,29	-	Bajo
10807	Purrál	0,20	2,96	64,98	-	Muy bajo
10901	Santa Ana	0,55	1,79	37,36	Media	
10902	Salitral	0,19	1,91	11,12	Bajo	Bajo
10903	Pozos	0,15	1,12	14,27	-	Bajo
10904	Uruca	0,12	1,44	11,02	-	Bajo
10905	Piedades	0,31	1,17	10,42	-	Bajo
10906	Brasil	0,00	0,67	26,56		
11001	Alajuelita	0,23	2,47	126,61	Alto	Bajo
11002	San Josecito	0,16	2,05	1,31	Media	Bajo
11003	San Antonio	0,00	0,66	0,5	Muy bajo	Bajo
11004	Concepción	0,14	2,02	1,05	Muy alto	Bajo
11005	San Felipe	0,26	2,22	2	Alto	Bajo
11101	San Isidro	0,33	4,4	92,35	-	Muy bajo
11102	San Rafael	0,24	2,71	62,22		Bajo
11104	Patalillo	0,38	2,8	71,94	-	Muy bajo
11301	San Juan	0,27	1,49	51,34	Muy alto	Bajo
11302	Cinco Esquinas	0,37	1,22	210,08	Muy alto	Bajo

11303	Anselmo Llorente	0,32	0,64	51,51	Muy alto	Bajo
11304	León XIII	0,16	0,57	15,43	Muy alto	Bajo
11305	Colima	0,00	0,54	1,76	Muy alto	Bajo
11401	San Vicente	0,25	2,23	49,95	Muy alto	Media
11402	San Jerónimo	0,42	2,44	20,43	-	-
11403	La Trinidad	0,44	1,54	4,08	-	Bajo
11501	San Pedro	0,48	3,09	10,05	-	Bajo
11502	Sabanilla	0,15	2,29	6,02	-	Bajo
11503	Mercedes	0,00	1,56	5,24	-	Medio
11504	San Rafael	0,15	1,21	4,4	-	Bajo
11801	Curridabat	0,12	2,33	16,37	-	Bajo
11802	Granadilla	0,27	1,54	4,56	-	Bajo
11803	Sánchez	0,76	0,67	6,01	-	Bajo
11804	Tirrases	0,38	2,17	2,82	-	Bajo
20101	Alajuela	0,31	2,52	76,47	-	-
20102	San José	0,20	0,6	28,44	-	-
20103	Carrizal	0,12	1,76	1,65	-	-
20104	San Antonio	0,20	0,81	1,52	-	-
20105	Guácima	0,28	0,52	0,44	-	-
20106	San Isidro	0,19	1,6	2,96	-	-
20108	San Rafael	0,15	1,38	51,03	-	-
20109	Rio Segundo	0,00	1,1	4,47	-	-
20110	Desamparados	0,31	1,77	4,29	-	-
20111	Turrucare	0,22	0,1	0	-	-
20112	Tambor	0,37	0,14	0,29	-	-
20113	Garita	0,11	0,35	0,31	-	-
20501	Atenas	0,89	2,56	49,12	-	-
20502	Jesús	0,24	1,98	19,79	-	-
20503	Mercedes	0,27	2,86	55,16	-	-
20505	Concepción	0,00	2,12	37,07	-	-
20508	Escobal	0,00	2,16	4,02	-	-

20801	San Pedro	0,75	2,81	108,84	-	-
20803	San Rafael	0,16	0,65	2,24	-	-
20804	Carrillos	0,19	1,77	18,59	-	-
30101	Oriental	0,24	4,21	66,08	-	-
30102	Occidental	0,29	1,15	6,18	-	-
30103	Carmen	0,26	1,76	1,2	-	-
30104	San Nicolas	0,38	1,81	2,81	-	-
30106	Guadalupe O Arenilla	0,12	1,63	14,42	-	-
30108	Tierra Blanca	0,70	0,68	17	-	-
30110	Llano Grande	0,61	2,22	1,48	-	Bajo
30111	Quebradilla	0,51	2,52	28,51	-	-
30201	Paraiso	0,33	2,19	31,09	-	-
30202	Santiago	0,16	2,68	0,32	-	Media
30204	Cachi	0,35	1,03	2,1	-	-
30205	Llanos De Santa Lucia	0,11	2,52	4,35	-	-
30301	Tres Ríos	0,32	2,99	35,09	-	-
30302	San Diego	0,16	1,06	1,92	-	Bajo
30303	San Juan	0,13	0,8	2,07	-	Bajo
30304	San Rafael	0,26	1,72	37,04	-	Bajo
30305	Concepción	0,33	0,92	11,5	-	Bajo
30306	Dulce Nombre	0,34	3,36	194,66	-	Bajo
30307	San Ramon	0,00	0,27	0	-	-
30308	Rio Azul	0,14	0,64	8,03	-	Bajo
30601	Pacayas	0,00	2,65	21,18	-	-
30602	Cervantes	0,30	1,32	1,52	-	-
30603	Capellades	0,76	0,38	3,46	-	-
30701	San Rafael	0,24	1,89	24,3	-	-
30702	Cot	0,37	1,12	11,23	-	-
30703	Potrero Cerrado	0,77	0,76	2,71	-	-

30704	Cipreses	0,49	1,73	12,91	-	-
30801	El Tejar	0,53	1,8	14,97	-	-
30803	Tobosi	0,40	1,03	4,83	-	-
40101	Heredia	0,68	1,69	133,58	-	-
40102	Mercedes	0,24	0,96	2	-	Medio
40103	San Francisco	0,37	0,99	24,56	Alto	Medio
40104	Ulloa	0,21	0,58	6,47	Alto	Medio
40201	Barva	0,40	2,21	354,52	-	Medio
40202	San Pedro	0,09	1,23	0,88	-	-
40203	San Pablo	0,21	0,52	0,63	-	Medio
40204	San Roque	0,00	0,4	0,18	-	Medio
40205	Santa Lucia	0,25	0,27	0,47		
40206	San José De La Montaña	0,46	0,76	0,31		
40301	Santo Domingo	0,59	3,87	159,84	Muy alto	Medio
40302	San Vicente	0,13	2,08	6,58	Muy alto	Medio
40303	San Miguel	0,39	1,08	19,25	Muy alto	Bajo
40304	Paracito	0,00	1,56	17,89	-	-
40305	Santo Tomas	0,52	1,46	5,11	-	Bajo
40306	Santa Rosa	0,56	3,29	8,1	Muy alto	Medio
40307	Tures	0,23	1,66	12,12	-	Bajo
40308	Para	0,99	2,14	11,79	-	-
40401	Santa Barbara	0,16	2,84	111,54	-	-
40402	San Pedro	0,45	1,81	12,52	-	-
40403	San Juan	0,11	0,9	35,91	-	-
40404	Jesús	0,18	1,61	28,16	-	-
40405	Santo Domingo	0,29	1,14	38,23	-	-
40406	Puraba	0,19	1,15	26,83	-	-
40501	San Rafael	0,19	1,69	78,87	-	Medio
40502	San Josecito	0,15	1,42	0,23	-	Medio

40503	Santiago	0,20	1,63	0,5	-	Medio
40504	Ángeles	0,32	0,66	0,16	-	-
40505	Concepción	0,00	0,27	0,13	-	-
40601	San Isidro	0,63	4,23	108,98	-	Bajo
40602	San José	0,12	1	2,13	-	-
40603	Concepción	0,00	2,21	4,03	-	-
40604	San Francisco	0,20	1,05	0,57	-	Bajo
40701	San Antonio	0,26	1,27	7,24	-	Medio
40702	La Ribera	0,42	1,85	3,22	-	Medio
40703	Asunción	0,14	1,31	3,1	-	Medio
40801	San Joaquín	0,49	3,61	28,25	-	Medio
40802	Barrantes	0,00	1,42	4,1	-	Medio
40803	Llorente	0,00	1,27	4,65	Muy alto	Medio
40901	San Pablo	0,52	2,37	49,95	-	Medio
40902	Rincón de Sabanilla	0,00	0,82	9,21	Muy alto	Medio

Nota¹: Las tasas de intento de suicidio y depresión son estandarizadas por edad, la del suicidio no por las razones expuestas en la metodología.

Nota²: Los valores que se encuentran en negrita superaron la tasa nacional del trastorno para el periodo en estudio.

Nota³: Los espacios rellenos con un “-” se deben a que el distrito no se encontró dentro del alcance de la interpolación (en el caso de NO₂ no se consideraron 110 distritos y en el de PM₁₀ 59 distritos). Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 21. Resultados de Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas (tasas crudas) de eventos de suicidio en cada uno de los niveles de exposición a NO₂ y PM₁₀, 2016-2019.

NO ₂					
Niveles de exposición comparados	Diferencia de proporciones	Intervalo de confianza (IC95%)	Valor de Chi-cuadrado	DF	Valor p
MA-MB	0,00%	- 0,0130% a 0,0282%	0,042	1,00	0,8374
A-B	0,03%	-0,0433% a 0,0362%	1,576	1,00	0,2094
A-M	0,00%	-0,0133% a 0,0201%	0,000	1,00	1,0000
M-B	0,03%	-0,0440% a 0,0495%	1,576	1,00	0,2094
PM ₁₀					
M-MB	0,00%	-0,0098% a 0,0137%	0,250	1,00	0,6170
M-B	0,00%	-0,0045% a 0,0096%	0,329	1,00	0,5663

Fuente: elaboración propia, 2022

Anexo 22. Resultados de Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas (tasas crudas) de eventos de intento de suicidio en cada uno de los niveles de exposición a NO₂ y PM₁₀, 2016-2019.

NO ₂					
Niveles de exposición comparados	Diferencia de proporciones	Intervalo de confianza (IC95%)	Valor de Chi-cuadrado	DF	Valor p
MA-MB	0,07%	0,0296% a 0,0996%	9,673	1,00	0,0019
A-B	0,07%	-0,0176% a 0,2300%	2,099	1,00	0,1474
A-M	0,02%	-0,0114% a 0,0583%	1,442	1,00	0,2299
M-B	0,05%	-0,0443% a 0,2123%	0,822	1,00	0,3645
PM ₁₀					
M-MB	0,20%	0,1639% a 0,2389%	160,802	1,00	< 0,0001
M-B	0,02%	0,0041% a 0,0349%	5,984	1,00	0,0144

Fuente: elaboración propia, 2022

Anexo 23. Resultados de Prueba Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas (tasas crudas) de eventos de depresión en cada uno de los niveles de exposición a NO₂ y PM₁₀, 2016-2019.

NO₂					
Niveles de exposición comparados	Diferencia de proporciones	Intervalo de confianza (IC95%)	Valor de Chi-cuadrado	DF	Valor p
MA-MB	4,50%	4,3675% a 4,6131%	1268,534	1,00	< 0,0001
A-B	1,29%	0,9616% a 1,5402%	36,955	1,00	< 0,0001
A-M	0,46%	0,3285% a 0,5891%	41,253	1,00	< 0,0001
M-B	0,82%	0,4828% a 1,1023%	17,766	1,00	< 0,0001
PM₁₀					
M-MB	4,84%	4,6578% a 5,0144%	3994,142	1,00	< 0,0001
M-B	0,14%	0,0673% a 0,2177%	13,581	1,00	0,0002

Fuente: elaboración propia, 2022

Anexo 24. Tasa estandarizada anual por edad y razón de tasas estandarizadas del suicidio según nivel de exposición, para el periodo del 2016 al 2019

Nivel de exposición	Indicadores por año							
	2016		2017		2018		2019	
	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas
Suicidio-NO₂								
Muy alto	0,77 (0,54-1,06)	0,50 (0,19-1,62)	0,63 (0,43-0,90)	0,53 (0,19-2,07)	0,76 (0,54-1,04)	0,00	0,84 (0,60-1,14)	2,99 (0,50-120,91)
Alto	0,81 (0,55-1,17)	0,53 (0,20-1,74)	0,70 (0,45-1,03)	0,58 (0,20-2,31)	0,88 (0,60-1,24)	0,00	0,74 (0,49-1,07)	2,63 (0,42-107,48)
Medio	0,77 (0,21-1,99)	0,50 (0,10-2,35)	1,00 (0,32)	0,84 (0,18-4,23)	0,62 (0,13-1,81)	0,00	0,56 (0,11-1,63)	1,99 (0,16-106,04)
Bajo	1,99 (0,50-11,10)	1,29 (0,03-11,73)	2,17 (0,06-12,11)	1,82 (0,04-17,70)	0,00	0,00	0	0
Muy bajo	1,55 (0,50-3,61)	1,00	1,19 (0,32-3,06)	1,00	0,00	0,00	0,28 (0,01-1,56)	1,00
Suicidio-PM₁₀								
Muy alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medio	0,64 (0,38-1,01)	0,96 (0,38-2,71)	0,52 (0,29-0,86)	0,78 (0,30-2,28)	0,93 (0,45-1,71)	1,11 (0,53-2,56)	0,82 (0,53-1,22)	1,28 (0,54-3,52)
Bajo	0,82 (0,67-0,100)	1,23 (0,58-3,13)	0,62 (0,49-0,77)	0,93 (0,43-2,40)	0,77 (0,62-0,93)	0,83 (0,43-1,78)	0,72 (0,58-0,89)	1,12 (0,53-2,88)
Muy bajo	0,67 (0,27-1,38)	1,00	0,66 (0,27-1,36)	1,00	1,03 (0,70-1,48)	1,00	0,64 (0,26-1,33)	1,00

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 25. Tasa estandarizada anual por edad y razón de tasas estandarizadas del intento de suicidio según nivel de exposición, para el periodo del 2016 al 2019

Nivel de exposición	Indicadores por año							
	2016		2017		2018		2019	
	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas
Intento de Suicidio-NO₂								
Muy alto	6,05 (5,35-6,81)	2,14(1,11-4,72)	1,76 (1,39-2,19)	1,11 (0,46-3,50)	6,05 (5,35-6,81)	2,14 (1,11-4,72)	7,31 (6,54-8,14)	1,83 (1,06-3,48)
Alto	4,15 (3,50-4,87)	1,46(0,75-3,27)	1,85 (1,43-2,36)	1,16 (0,48-3,71)	4,15 (3,51-4,87)	1,46 (0,75-3,27)	4,81 (4,12-5,58)	1,21 (0,69-2,31)
Medio	2,68 (1,42-4,59)	0,95(0,38-2,51)	2,95 (1,61-4,96)	1,86 (0,64-6,57)	2,68 (1,42-4,59)	0,95 (0,38-2,51)	5,03 (3,25-7,43)	1,26 (0,62-2,68)
Bajo	7,67 (2,09-19,65)	2,70(0,61-9,75)	0,00	0,00 (0,00-6,88)	7,67 (2,09-19,65)	2,71 (0,61-9,75)	7,59 (2,06-19,45)	1,90 (0,45-6,17)
Muy bajo	2,83 (1,29-5,38)	1,00	1,59 (0,52-3,70)	1,00	2,83 (1,29-5,38)	1,00	3,99 (2,12-6,83)	1,00
Intento de suicidio-PM₁₀								
Muy alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medio	1,55 (1,12-2,09)	0,21 (0,15-0,32)	1,84 (1,37-2,42)	0,30 (0,20-0,43)	4,10 (3,37-4,93)	0,54 (0,40-0,72)	6,86 (5,92-7,92)	0,51 (0,41-0,64)
Bajo	2,48 (2,20-2,77)	0,34 (0,26-0,45)	2,24 (1,98-2,51)	0,36 (0,27-0,48)	5,05 (4,66-5,46)	0,66 (0,52-0,84)	6,36 (5,92-6,82)	0,47 (0,40-0,57)
Muy bajo	7,17 (5,64-8,99)	1	6,20 (4,79-7,91)	1,00	7,65 (6,08-9,51)	1,00	13,44 (11,33-15,82)	1,00

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 26. Tasa estandarizada anual por edad y razón de tasas estandarizadas de depresión según nivel de exposición, para el periodo del 2016 al 2019

Nivel de exposición	Indicadores por año							
	2016		2017		2018		2019	
	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas	Tasa estandarizada	Razón de tasas estandarizadas
Suicidio-NO₂								
Muy alto	218,02 (213,93-222,19)	7,08 (5,81-8,72) *	176,33 (172,67-180,04)	3,26 (2,80-3,81) *	106,69 (103,86-109,58)	11,51 (8,10-16,97) *	18,08 (16,90-19,30)	8,51 (4,13-21,26) *
Alto	94,36 (91,20-97,60)	3,06 (2,51-3,78) *	96,53 (93,36-99,77)	1,78 (1,53-2,09) *	33,90 (32,04-35,84)	3,65 (2,56-5,41) *	14,94 (13,72-16,24)	7,04 (3,40-17,61) *
Medio	80,74 (73,07-88,98)	2,62 (2,10-3,30) *	59,81 (53,32-66,87)	1,11 (0,91-1,34) *	40,28 (34,99-46,14)	4,34 (2,97-6,57) *	7,83 (5,61-10,63)	3,69(1,64-9,76) *
Bajo	60,92 (41,38-86,49)	1,98 (1,28-2,99) *	33,25 (19,35-33,24)	0,61(0,35-0,61) *	3,77 (0,45-13,63)	0,41(0,05-1,62)	15,34 (6,62-30,24)	7,23(2,30-23,45) *
Muy bajo	30,80 (25,03-37,50)	1	54,10 (46,33-62,79)	1	9,27 (6,29-13-15)	1	2,12 (0,85-4,97)	1
Intento de suicidio-PM₁₀								
Muy alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medio	136,94867 (132,70-141,30)	0,48 (0,46-0,51)	112,16158 (108,36-116,06)	0,42 (0,40-0,44)	331,79731 (325,26-338,43)	0,41 (0,39-0,42)	11,60 (10,41-12,90)	0,39 (0,33-0,45)
Bajo	130,5993 (128,63-132,59)	0,46 (0,44-0,48)	120,41 (118,53-122,29)	0,44 (0,43-0,47)	323,46059 (320,38-326,56)	0,39 (0,39-0,40)	16,38 (15,69-17,09)	0,55 (0,49-0,62)
Muy bajo	283,03 (272,92-293,36)	1,00	267,68114 (257,68-277,65)	1,00	819,13 (802,19-836,34)	1,00	29,85 (26,70-33,28)	1,00

*Significativos estadísticamente. Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 27. Tasa de mortalidad bruta y prueba de chi-cuadrado para la comparación de proporciones (tasas crudas) observadas en eventos de suicidio por nivel de exposición a NO₂ y PM₁₀ según temporada, periodo del 2016 al 2019

Nivel de exposición	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)			Material particulado (PM ₁₀)		
	Tasa bruta (seca)	Tasa bruta (lluviosa)	Valor de p	Tasa bruta (seca)	Tasa bruta (lluviosa)	Valor de p
Muy bajo	1,53	1,53	1.0000	1,40	1,96	0.0096*
Bajo	0,00	0,00	1.0000	0,02	1,51	0.0403*
Medio	1,00	1,79	0.2842	1,05	1,64	0.2007
Alta	1,52	1,52	1.0000	0,00	0,00	-
Muy alta	1,29	1,52	0.4081	0,00	0,00	-

*Valor de p menor a 0,05 evidencia diferencia de proporciones

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 28. Tasa de incidencia bruta y prueba de Chi-cuadrado para la comparación de proporciones (tasas crudas) observadas en eventos de intento de suicidio por nivel de exposición a NO₂ y PM₁₀ según temporada, periodo del 2016 al 2019

Nivel de exposición	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)			Material particulado (PM ₁₀)		
	Tasa bruta (seca)	Tasa bruta (lluviosa)	Valor de p	Tasa bruta (seca)	Tasa bruta (lluviosa)	Valor de p
Muy bajo	4,58	4,27	0.8556	4,58	4,27	0.8556
Bajo	5,71	13,33	0.2323	5,71	13,33	0.2323
Medio	5,98	8,37	0.1564	5,98	8,37	0.1564
Alta	5,13	7,01	0.0010*	5,13	7,01	0.0010*
Muy alta	7,27	10,16	< 0.0001*	7,27	10,16	< 0.0001*

*Valor de p menor a 0,05 evidencia diferencia de proporciones

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 29. Tasa de incidencia bruta y prueba de Chi-cuadrado para la comparación de proporciones observadas (tasas crudas) en eventos de depresión por nivel de exposición a NO₂ y PM₁₀ según temporada, periodo del 2016 al 2019

Nivel de exposición	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)			Material particulado (PM ₁₀)		
	Tasa bruta (seca)	Tasa bruta (lluviosa)	Valor de p	Tasa bruta (seca)	Tasa bruta (lluviosa)	Valor de p
Muy bajo	30,23	21,07	0.0213*	304,38	526,22	< 0.0001
Bajo	30,47	51,42	0.0936	149,27	189,12	< 0.0001
Medio	84,30	87,89	0.5371	137,51	213,86	< 0.0001
Alta	83,47	108,15	< 0.0001*	0,00	0,00	-
Muy alta	225,80	259,33	< 0.0001*	0,00	0,00	-

*Valor de p menor a 0,05 evidencia diferencia de proporciones

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 30. Resultados estadísticos del modelo de regresión lineal y supuestos relacionados, según las relaciones posibles entre las variables considerando los resultados de la prueba de coeficiente de Spearman.

Indicadores	Variables relacionadas			
	Depresión y NO ₂	Suicidio y NO ₂	Intento de suicidio y PM ₁₀	
Estadísticos del modelo de regresión lineal	Coeficiente de determinación	0,07	0,09	0,03
	Coeficiente de determinación ajustado	0,04	0,06	0,02
	Valor de F	3,02	3,96	3,08
	Valor p (significancia de modelo)	0,09	0,05*	0,08
	Coeficiente de relación entre variables	2,97 (-0,48 a 6,42)	0,007 (-0,003 a 0,013)	- 0,04 (-0,08 a 0,004)
	Significancia	0,09	0,05*	0,08
Supuestos	Linealidad	Distribución homogénea	Distribución homogénea	Distribución homogénea
	Homocedasticidad	0,79	0,80	0,73
	Normalidad de errores	0,00	0,0028	0,00

*Significancia p<0,05 **Significativo p<0,10

Nota: La conclusión del supuesto de linealidad se obtuvo a partir de los resultados de un gráfico de dispersión de las puntuaciones residuales y predichas. La homocedasticidad se comprobó mediante la prueba de test White, valores mayores a 0,05 se consideran como datos con homocedasticidad. Para comprobar la normalidad se utilizó la prueba Skewness-kurtosis, valores mayores a 0,05 poseen distribución normal.

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 31. Resultados del modelo de poisson y la prueba de sobre dispersión, según las relaciones posibles entre las variables.

Indicadores	Variables relacionadas						
	Suicidio y PM ₁₀	Intento de suicidio y PM ₁₀	Depresión y PM ₁₀	Suicidio y NO ₂	Intento de suicidio y NO ₂	Depresión y NO ₂	
Estadísticos del modelo	Probabilidad de registro	-232,63	-611,07	-37626,42	-113,83	-323,07	-13624,46
	Significancia (prob chi2)	0,23	0,00*	0,00*	0,13	0,00*	0,00*
	IRR (Razón de tasas de incidencia)	1,01 (0,99 a 1,02)	0,97 (0,96 a 0,97)	0,98 (0,98 a 0,99)	1,01 (0,99 a 1,03)	1,01 (1,01 a 1,02)	1,01 (1,00 a 1,02)
	Significancia (p lzl)	0,23	0,00*	0,00*	0,14	0,00*	0,00*
Supuestos	Sobre dispersión (devianza/grados de libertad)	2,02	8,34	810,76	1,96	10,31	640,70

*Significancia $p < 0,05$ **Significativo $p < 0,10$

Nota: Para conocer el grado de dispersión se generó el coeficiente entre la devianza y los grados de libertad, los valores por encima de 1 se consideran sobre dispersos .

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 32. Resultados del modelo de regresión binomial negativa robusta, según las relaciones posibles entre las variables.

Indicadores	Variables relacionadas						
	Suicidio y PM ₁₀	Intento de suicidio y PM ₁₀	Depresión y PM ₁₀	Suicidio y NO ₂	Intento de suicidio y NO ₂	Depresión y NO ₂	
Estadísticos del modelo	Probabilidad de registro	-222,31	-373,46	-680,19	-107,82	-180,07	-333,76
	Significancia (prob chi ²)	0,61	0,04*	0,98	0,14	0,16	0,00*
	IRR (Razón de tasas de incidencia)	1,01 (0,98 a 1,03)	0,98 (0,96 a 0,99)	1,00 (0,95 a 1,06)	1,01 (1,00 a 1,03)	1,01 (0,99 a 1,03)	1,09 (1,05 a 1,14)
	Errores estándar (robusto)	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02
	Significancia (p z)	0,61	0,04*	0,98	0,14	0,16	0,00*
	lnalpha	-1,84	-1,18	0,64	-2,09	-0,94	0,19
	alpha	0,16	0,31	1,90	0,12	0,40	1,21
	Test alpha=0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,00*

*Significancia p<0,05 **Significativo p<0,10

*Significancia p<0,05 **Significativo p<0,10

Fuente: elaboración propia, 2022.

Anexo 33. Parámetros de salida del modelo de regresión geográficamente ponderada para la asociación de concentración de NO₂ y depresión en algunos distritos de la GAM en el periodo del 2016-2019.

ID	Valor observado	Número de condición	Valor predicho	Intersección del coeficiente	Coficiente (PM10)	Coficiente (NO2)	Residuos	Error estándar	Error estándar de intercepción	Error estándar de coeficiente (PM10)	Error estándar de coeficiente (NO2)	Residuos estandarizados
1	34,77	23,16	42,47	71,06	-6,10	3,31	-7,70	90,70	72,55	5,36	1,87	-0,084
2	21,36	22,60	55,13	71,05	-6,18	3,36	-33,77	91,16	72,97	5,06	1,87	-0,367
3	0,53	24,66	4,24	59,23	-5,09	2,92	-3,71	74,15	72,93	7,11	1,94	-0,056
4	31,65	21,57	55,74	68,41	-6,11	3,41	-24,09	91,18	73,88	4,77	1,89	-0,262
5	1,29	23,11	24,47	67,91	-5,85	3,23	-23,18	87,19	72,19	5,63	1,87	-0,263
6	1,04	22,46	54,97	68,90	-6,00	3,31	-53,93	91,31	72,37	5,19	1,87	-0,586
7	13,23	21,63	71,07	67,75	-6,02	3,36	-57,84	91,14	72,85	4,86	1,87	-0,629
8	63,57	21,20	71,57	66,92	-6,02	3,40	-8,00	91,29	73,65	4,72	1,89	-0,087
9	128,85	21,59	64,10	65,75	-5,83	3,29	64,75	91,34	72,15	5,05	1,86	0,707
10	48,31	20,60	72,13	64,67	-5,94	3,42	-23,82	91,44	75,32	4,61	1,93	-0,258
11	11,34	20,48	-17,56	50,74	-4,48	2,75	28,90	75,32	71,73	5,46	1,91	0,389
12	47,43	20,58	80,80	64,52	-5,89	3,39	-33,37	91,46	73,70	4,65	1,89	-0,365
13	11,05	18,56	4,19	46,27	-4,00	2,52	6,86	82,90	72,28	5,04	1,93	0,082
14	26,5	18,00	30,32	47,25	-4,17	2,62	-3,82	89,41	71,25	4,74	1,89	-0,042
15	117,17	20,27	81,41	62,74	-5,83	3,41	35,76	91,57	77,17	4,57	1,97	0,390
16	1,86	21,57	69,31	60,99	-5,44	3,15	-67,45	90,44	71,94	5,49	1,88	-0,839
17	49,4	20,16	79,79	61,76	-5,68	3,32	-30,39	91,03	72,84	4,74	1,87	-0,334
18	163,37	20,06	81,37	61,70	-5,76	3,40	82,00	91,66	77,33	4,54	1,98	0,894
19	84,3	19,78	77,74	60,70	-5,69	3,38	6,56	89,24	76,14	4,54	1,95	0,074
20	574,52	20,38	81,54	60,77	-5,66	3,37	492,98	91,67	81,68	4,54	2,08	5,374
21	39,6	17,18	20,11	43,47	-3,67	2,33	19,49	88,53	73,36	4,79	1,97	0,219
22	6,36	20,77	100,80	60,47	-5,59	3,35	-94,44	89,03	84,93	4,54	2,15	-1,063
23	37,97	19,25	71,33	54,78	-5,42	3,35	-33,36	90,75	78,80	4,57	2,01	-0,365
24	25,98	20,24	92,11	58,79	-5,55	3,36	-66,13	88,94	82,82	4,51	2,10	-0,737

25	209,82	21,41	92,08	59,77	-5,49	3,31	117,74	88,72	90,02	4,53	2,26	1,316
26	18,63	21,76	81,61	61,55	-5,53	3,29	-62,98	91,57	90,96	4,57	2,29	-0,688
27	49,11	21,74	81,63	62,06	-5,57	3,30	-32,52	91,43	90,39	4,60	2,28	-0,356
28	57,74	23,21	91,50	62,66	-5,41	3,20	-33,76	88,17	99,80	4,57	2,48	-0,380
29	14,1	23,74	58,64	48,15	-5,03	3,29	-44,54	91,08	108,14	4,53	2,65	-0,485
30	27,36	17,85	40,24	41,81	-4,33	2,89	-12,88	90,24	75,02	4,39	1,92	-0,141
31	1,77	23,13	72,55	57,85	-5,30	3,24	-70,78	91,39	101,70	4,53	2,52	-0,769
32	15,96	19,79	41,03	36,98	-4,54	3,18	-25,07	89,93	85,81	4,43	2,15	-0,276
33	8,53	17,28	29,16	43,47	-4,01	2,59	-20,63	89,61	72,62	4,53	1,90	-0,228
34	57,5	23,91	103,78	60,63	-5,27	3,16	-46,28	87,88	103,56	4,55	2,56	-0,533
35	178	25,84	38,93	49,94	-4,87	3,14	139,07	91,09	115,72	4,57	2,83	1,571
36	8,23	25,10	38,82	44,27	-4,83	3,24	-30,59	91,03	114,56	4,56	2,80	-0,346
37	7,53	17,57	4,32	41,62	-3,89	2,57	3,21	86,09	77,02	4,56	1,97	0,039
38	5,21	25,43	59,03	57,76	-5,05	3,08	-53,82	91,21	111,07	4,56	2,72	-0,585
39	6,52	19,70	23,61	35,53	-4,22	3,00	-17,09	90,20	85,13	4,43	2,13	-0,193
40	3,34	17,96	13,50	40,35	-4,01	2,70	-10,16	88,96	78,08	4,47	1,98	-0,117
41	9,46	26,28	10,06	32,95	-4,49	3,28	-0,60	90,65	122,21	4,66	3,01	-0,009
42	7,2	26,35	38,97	53,95	-4,90	3,07	-31,77	90,97	116,50	4,59	2,85	-0,361
43	19,91	25,02	80,10	62,24	-5,18	3,06	-60,19	91,06	107,56	4,58	2,64	-0,666
44	24,87	20,79	23,79	32,40	-4,17	3,04	1,08	89,89	91,70	4,48	2,28	0,012

*ID es el identificador asignado por el programa a cada uno de los objetos espaciales que tienen asociado un valor de una variable

Fuente: elaboración propia, 2022