Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2024-FIAS-006

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES MEDIANTE EL USO DEL MODELO GAUSSIANO EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA, 2022

Presentado por:

TREJO QUINTANILLA TEDY MANUEL

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 6%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20160040**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 18 de Enero del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
DIRECCION DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

INFORME FINAL DE TESIS:

“DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES MEDIANTE EL USO DEL MODELO GAUSSIANO EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA, 2022”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

Presentado por:

Bach. TREJO QUINTANILLA TEDY MANUEL

Asesor:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

ICA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A **Dios** por haberme dado la fuerza para no rendirme en aquellos momentos de debilidad.

A mi **madre** por todo su apoyo y paciencia a lo largo de estos años; y por haberme inculcado valores y buenos hábitos, los cuales me han ayudado a seguir adelante en momentos difíciles.

Mariza Quintanilla Villa

A mi **Padre** por estar siempre alentándome a seguir adelante y por su soporte incondicional en cada etapa de mi vida.

Manuel Trejo Alarcón

A mi **Familia** por siempre apoyarme con sus consejos a o largo de mi vida universitaria y por creer en mí

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mi **Asesor** el **Dr. Pedro Córdova Mendoza**, por su paciencia y constancia en el logro de esta investigación. Muchas gracias por sus palabras de aliento y consejos cuando más las necesite.

A mis **docentes** por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por sus sabias palabras que impactaron positivamente en mi vida

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTO iii
INDICE DE CONTENIDO iv
INDICE DE TABLAS vi
INDICE DE FIGURAS vii
RESUMEN viii
SUMMARY ix
I. INTRODUCCIÓN 10
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 12
1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 16
1.2.1. Antecedentes Internacionales 16
1.2.2. Antecedentes nacionales 18
1.3. BASES TEÓRICAS 19
1.3.1. Modelo Gaussiano 19
1.3.2. Dispersión de contaminantes 20
1.3.3. Material Particulado - PM 10 21
1.3.4. Modelo de penacho Gaussiano a nivel del suelo 21
1.3.5. Concentraciones de material particulado a nivel del suelo 23
1.3.6. Clasificación y fuente de material particulado (PM) 23
1.3.7. Fuente puntual continua 24
1.3.8. Velocidad del viento con elevación 25
1.3.9. Desviación normal en la dirección del viento 26
1.3.10. Vulnerabilidad 28
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 29
1.4.1. Problema general 30
1.4.2. Problemas específicos 30
1.5. OBJETIVOS 30
1.5.1. Objetivo principal 30
1.5.2. Objetivos Específicos 31
1.6. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN 31
1.6.1. Hipótesis principal 31
1.6.2. Hipótesis Específicas 31
1.7. VARIABLES 31
1.7.1. Variable independiente 31
1.7.2. Variable dependiente 32
1.7.3. Operacionalización de Variables 33
1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 34
1.8.1. Justificación 34
1.8.2. Importancia 35
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA 37
2.1. ÁREA DE ESTUDIO 37

2.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 39
2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación 39
2.2.2. Población y muestra 39
2.2.3. Técnicas de recolección de datos 40
2.2.4. Instrumentos de recolección de datos 40
2.2.5. Técnicas de procesamiento de datos 41
2.2.6. Análisis e interpretación de datos 41
2.3. MARCO LEGAL 41
III. RESULTADOS 42
3.1. MOSTRAR EL USO DEL MODELO GAUSSIANO QUE CONTRIBUYE EN LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA. 42
3.2. EVALUAR LA APLICACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO COMO HERRAMIENTA EFECTIVA QUE RELACIONA ENTRE LA FUENTE Y LA DISTANCIA EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA. 45
3.3. REGISTRAR LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS QUE INFLUYEN SIGNIFICATIVAMENTE EN LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA. 51
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 57
4.1. MOSTRAR EL USO DEL MODELO GAUSSIANO QUE CONTRIBUYE EN LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA. 57
4.2. EVALUAR LA APLICACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO COMO HERRAMIENTA EFECTIVA QUE RELACIONA ENTRE LA FUENTE Y LA DISTANCIA EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA. 58
4.3. REGISTRAR LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS QUE INFLUYEN SIGNIFICATIVAMENTE EN LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DE VULNERABILIDAD EN EL SECTOR INDUSTRIAL ICA. 60
V. CONCLUSIONES 61
VI. RECOMENDACIONES 62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de estabilidad atmosférica (Turner) 26

Tabla 2 Valores aproximados de σy y σz, en función de la distancia a favor del viento para las distintas clases de estabilidad 28

Tabla 3 Valores de las constantes a utilizar en la ecuación en función de la distancia en la dirección del viento y de la condición de estabilidad 28

Tabla 4 Variable independiente y variable dependiente 33

Tabla 5 Ubicación en coordenadas UTM 42

Tabla 6 Resume el procedimiento a elaborar con la Tabla, 2, Tabla 3 y Fig. 2 y Fig. 3 44

Tabla 7 Resultado del muestreo de la calidad del aire 45

Tabla 8 Resultados de los valores estimados de emisiones de fuentes fijas, con estabilidad D. Considerar las desviaciones de la Tabla 2 46

Tabla 9 Valores aproximados de σ_y y σ_z 47

Tabla 10 Resultados de los valores estimados de emisiones de fuentes fijas, con estabilidad D. Considerar las desviaciones de la Tabla 3 48

Tabla 11 Resultados, con estabilidad D con desviaciones del pequeño tamaño de los gráficos en las Figs. 10 y 11, presentado por Turner 50

Tabla 12 Resultados de la medición meteorológica en el punto TQ-01 52

Tabla 13 Resultados de la medición meteorológica en el punto TQ-01 53

Tabla 14 Resultados de la medición meteorológica en el punto TQ-02 54

Tabla 15 Resultados promedio de la Medición Meteorológica CA-02 55

INDICE DE FIGURAS

"**Figura 1** Sistema de coordenadas y nomenclatura para idea gaussiana columna de humo" 20

Figura 2 Desviación normal, σ_z en la dirección vertical, como una función de la distancia en la dirección del viento 27

Figura 3 Desviación normal, σ_y en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento 27

Figura 4 Mapa de los distritos de Ica y mapa del Peru 37

Figura 5 Parque industrial de Ica 38

Figura 6 Puntos de monitoreo en la calle B (C.B), parque industrial de Ica 38

Figura 7 Equipo de toma de muestra de alto volumen (High Vol)..... 40

Figura 8 Balance de materiales para los contaminantes presentes en el aire de la zona de estudio 43

Figura 9 Muestra los resultados obtenidos en la Tabla 5, de los valores estimados de las emisiones de las fuentes fijas del sector industrial de la ciudad de Ica 46

Figura 10 Muestra los resultados obtenidos en la Tabla 7, de los valores estimados de las emisiones de las fuentes fijas del sector industrial de la ciudad de Ica 48

Figura 11 Coeficiente de dispersión lateral σ_y según distancia y categoría de estabilidad atmosférica 49

Figura 12 Coeficiente de dispersión vertical σ_z según distancia y categoría de estabilidad atmosférica 49

Figura 13 Muestra los resultados obtenidos en la Tabla 8..... 50

Figura 14 Rosa de viento TQ-01 53

RESUMEN

Objetivo, fue Mostrar el uso del modelo gaussiano que contribuye en la "dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad" en el sector industrial Ica. **Estrategia Metodológica,** el estudio realizado de tipo observacional-prospectivo-transversal, nivel descriptivo, diseño no experimental, la investigación aplicada, que permitió la recopilación de datos meteorológicos, el monitoreo de la calidad del aire y la aplicación del "modelo gaussiano para estimar la dispersión de contaminantes". **Resultados**, revelaron que los "parámetros meteorológicos, como la velocidad y dirección del viento", la estabilidad atmosférica y la temperatura, desempeñan un papel significativo en la dispersión de contaminantes en la zona de estudio. La topografía local también influye en los patrones de dispersión, lo que subraya la necesidad de considerar estos factores en la "gestión de la calidad del aire". **Discusión,** se identificó la importancia de modelos de dispersión más avanzados y específicos para la región de Ica, dadas sus condiciones particulares. Se sugirió que el modelo gaussiano proporciona una base útil, pero se reconoció la necesidad de modelos más detallados que tengan en cuenta la topografía y las condiciones locales. **Conclusión,** resaltaron la importancia de mantener un monitoreo continuo de los parámetros meteorológicos y de mejorar la precisión de las predicciones de calidad del aire mediante modelos más avanzados. Se recomendó una planificación urbana adecuada y la cooperación entre diversas partes interesadas para abordar eficazmente la contaminación del aire en la zona industrial.

Palabras Claves: Contaminación del aire; Modelo gaussiano; Dispersión de contaminantes; Zona de vulnerabilidad; Sector industrial.

SUMMARY

Objective, was to show the use of the gaussian model that contributes to the dispersion of contaminants in the vulnerability zone in the Ica industrial sector. ***Methodological Strategy***, the study carried out on an observational-prospective-cross-sectional basis, descriptive level, non-experimental design, applied research, which allowed the collection of meteorological data, monitoring of air quality and the application of the Gaussian model to estimate dispersion of contaminants. ***Results*** revealed that meteorological parameters, such as wind speed and direction, atmospheric stability and temperature, play a significant role in the dispersion of pollutants in the study area. Local topography also influences dispersion patterns, underscoring the need to consider these factors in air quality management. ***Discussion***, the importance of more advanced and specific dispersion models for the Ica region was identified, given its particular conditions. It was suggested that the Gaussian model provides a useful basis, but the need for more detailed models that take into account topography and local conditions was recognized. ***Conclusion***, they highlighted the importance of maintaining continuous monitoring of meteorological parameters and improving the accuracy of air quality predictions through more advanced models. Adequate urban planning and cooperation between various stakeholders was recommended to effectively address air pollution in the industrial area.

Keywords**:** ***Air pollution; Gaussian model; Contaminant dispersion; Vulnerability zone; Industrial sector***

I. INTRODUCCIÓN

En un mundo caracterizado por un crecimiento industrial continuo y una creciente conciencia ambiental, la gestión adecuada de la contaminación del aire se ha convertido en una prioridad crítica Con el fin de proteger la salud de la población y el equilibrio de los ecosistemas cercanos. La región de Ica, ubicada en el corazón de la industria peruana, no es ajena a este desafío global. Su papel central en la producción industrial y agrícola la hace especialmente susceptible a la dispersión de contaminantes, lo que puede tener impactos significativos en la calidad del aire y, por lo tanto, en la salud de sus residentes y en la integridad del medio ambiente local.

La difusión de sustancias contaminantes en la atmósfera es un fenómeno en desarrollo complejo que depende de múltiples variables, incluyendo la topografía local, las condiciones meteorológicas, las fuentes de emisión y las propiedades físicas y químicas de los contaminantes en cuestión. Ante esta complejidad, la modelización matemática se ha convertido en una herramienta esencial para comprender y anticipar la propagación de contaminantes en la atmósfera mediante pronósticos. Uno de los modelos más ampliamente utilizados para este propósito es el Modelo Gaussiano, que se basa en el concepto de la dispersión atmosférica como una distribución probabilística.

El uso del Modelo Gaussiano en la evaluación de la dispersión de contaminantes es particularmente relevante en áreas industriales como Ica, donde las emisiones de contaminantes pueden variar significativamente en magnitud y composición. Este modelo permite evaluar la concentración de contaminantes en puntos específicos del área de estudio y, por lo tanto, proporciona información valiosa para la toma de decisiones relacionadas con la gestión ambiental y la protección de la salud pública.

El objetivo fundamental de esta investigación es analizar la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica durante el año 2022, utilizando el Modelo Gaussiano como herramienta principal. A través de este estudio, se pretende proporcionar una visión detallada de la dinámica de dispersión de contaminantes en la región, identificando áreas críticas y períodos de mayor riesgo, lo que a su vez permitirá tomar medidas preventivas y correctivas eficaces.

Por lo tanto, esta investigación se suma al esfuerzo global por comprender y abordar los desafíos relacionados con la contaminación del aire en áreas industriales, y busca proporcionar información valiosa para proteger la salud de la población y preservar el entorno natural en el sector industrial de Ica durante el año 2022.

Por lo tanto, El estudio se divide en secciones o capítulos:

Capítulo I: Expone la problemática o situación "de la dispersión de "contaminantes presentes en el ambiente mediante el uso del modelo gaussiano, en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial". "Se ha revisado los antecedentes internacionales, nacionales y locales, que ha permitido determinar la justificación e importancia de la investigación, asimismo, se han revisado fuentes bibliográficas para elaborar las bases teóricas, el marco conceptual".

Capitulo II: "El enfoque metodológico de la investigación es de tipo observacional-prospectiva-transversal, nivel descriptivo y diseño no experimental". Se identificó como población la zona industrial del distrito de Ica y "el tamaño de la muestra, se determinó mediante muestreo probabilístico". "La técnica empleada fue la observación y el instrumento", la cadena de custodia donde se registró los datos y la evaluación de la concentración de partículas PM10..

Capitulo III: Se desarrolla el modelo gaussiano en base a la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad industrial, en base al informe entregado por el laboratorio acreditado Envirotest S.A.C, "se aplicó el estadístico del t-student para la evaluación de la significancia de las variables estudiadas".

Capitulo IV: En base a las tablas estadísticas derivados de "los resultados del monitoreo del PM10 en la zona industrial en la provincia de Ica, se ha realizado la discusión de resultados".

En los Capítulo V y VI; "se indican las conclusiones y recomendaciones y en el capítulo VII se señalan las referencias bibliográficas".

1.1. Situación problemática

[1] La anticipación y evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos en el sector industrial desempeña un papel esencial en la identificación de peligros y en la administración de situaciones de emergencia relacionadas con la contaminación del aire. El enfoque convencional y científico utilizado predominantemente para abordar este desafío se basa en el modelamiento de la dispersión atmosférica.

Este proceso, altamente especializado y fundamentado en principios matemáticos y físicos, implica la utilización de modelos como el Modelo Gaussiano para estimar la propagación de contaminantes desde fuentes específicas hacia el ambiente circundante. Estos modelos consideran una serie de factores fundamentales, como Las condiciones climáticas regionales y la geografía del área circundante y las propiedades físicas y químicas de los contaminantes, para predecir cómo se dispersarán en la atmósfera.

La aplicación de este enfoque científico permite obtener una representación precisa y cuantitativa de cómo los contaminantes se distribuirán en el aire, cuáles áreas pueden verse más afectadas y en qué medida. Esta información es invaluable para la planificación y toma de decisiones en situaciones normales, así como en momentos de emergencia, como fugas químicas o incidentes industriales imprevistos.

En última instancia, la predicción de la dispersión de contaminantes a través del modelamiento atmosférico es una herramienta esencial en la gestión de riesgos y la protección de la salud pública, ya que permite la implementación de medidas preventivas y de respuesta efectivas para minimizar los impactos negativos de la contaminación del aire en el sector industrial y sus alrededores.

Sin embargo, la exactitud de la representación de la dispersión de contaminantes en simulaciones atmosféricas se encuentra estrechamente ligada a la precisión tanto del modelo empleado como de los datos de entrada utilizados, que comprenden elementos tales como la fuente de contaminantes (su ubicación y la

cantidad liberada), la velocidad del viento, la estabilidad atmosférica, entre otros factores [2].

Los investigadores, ***Zhang et al.,*** enfatizan que la correcta circulación del aire desempeña un papel fundamental en la gestión del riesgo de infecciones transmitidas por el aire en el caso de enfermedades respiratorias infecciosas, como la COVID-19 [3]. ***Zhang et al.***, también señalan que aunque investigaciones previas han evaluado y contrastado la eficacia de diversas estrategias de distribución de aire en la gestión del riesgo de infecciones transmitidas por el aire, aún prevalece la falta de comprensión completa acerca de los mecanismos subyacentes en estas estrategias para el control de infecciones respiratorias transmitidas por el aire [3]. Conforme a lo planteado por ***Copelli et al.,*** el crecimiento de la producción industrial y la innovación en los procesos industriales han destacado la imperativa necesidad de establecer regulaciones más sólidas en relación a las operaciones industriales, con el objetivo primordial de gestionar de manera efectiva los posibles peligros tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente circundante [4]. Para lograr estos objetivos, es esencial llevar a cabo investigaciones exhaustivas tanto en la química del fenómeno en cuestión como en los mecanismos de dispersión en el entorno circundante. Aunque es factible determinar la química de la reacción en una escala reducida mediante modelos y experimentos de laboratorio, la dispersión en el entorno ambiental se presenta como un fenómeno altamente intrincado y desafiante de modelar, dado que está significativamente influenciado por las condiciones atmosféricas [5].

El contexto actual nos presenta desafíos ambientales de gran envergadura, y es imperativo que la comunidad científica, que constituye el motor intelectual de cada nación, asuma un papel central en la respuesta a estos desafíos que nos plantea el siglo XXI. Esto implica un compromiso y una responsabilidad aún mayores en la promoción de la sostenibilidad de la calidad del aire, un elemento esencial tanto para la protección de la salud de las personas como para el fomento del progreso sostenible.. La contaminación atmosférica, en particular, se ha convertido en un problema de alcance global que no solo afecta la calidad de vida

de las personas, sino que también tiene repercusiones directas en la mortalidad prematura debido a enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares, cáncer y enfermedades respiratorias agudas. En este contexto, la ciencia y la investigación desempeñan un papel crucial en la búsqueda de soluciones y políticas efectivas que aborden estos problemas ambientales de manera integral y contribuyan a un futuro más saludable y sostenible para todos.

Conforme a los datos proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que la contaminación del aire, tanto en ambientes interiores como exteriores, ocasiona aproximadamente 7 millones de fallecimientos a nivel mundial cada año. Estas cifras ponen de manifiesto la alarmante magnitud de los impactos adversos de la contaminación atmosférica en la salud de la población a nivel global, destacando la urgente necesidad de implementar medidas efectivas para abordar esta grave problemática y proteger la salud pública [6].

Es importante reconocer que la meteorología y la topografía en la región costera de Ica a menudo presentan notables diferencias en comparación con las características geográficas y climáticas de las regiones del interior. Estas diferencias pueden influir significativamente en la dinámica de la dispersión de contaminantes en esta área. La proximidad al mar, por ejemplo, puede introducir variaciones en la dirección y velocidad del viento, así como en la humedad atmosférica, lo que a su vez afecta la dispersión de los contaminantes. Además, factores geográficos como las colinas y valles en la topografía local pueden crear condiciones micro climáticas que influyen en la dispersión de contaminantes.

Además, la presencia de industrias y el transporte en la zona industrial pueden contribuir a una mayor complejidad en la caracterización de la dispersión de contaminantes. Las emisiones industriales y las actividades de transporte generan fuentes múltiples y variadas de contaminantes, cada una con sus propias características de liberación y comportamiento en la atmósfera. La interacción de estas fuentes con la topografía local y las condiciones meteorológicas puede hacer que la dispersión sea más difícil de predecir y modelar en comparación con las regiones del interior.

Por lo tanto, es esencial tener en cuenta estas particularidades en la investigación sobre la propagación de sustancias contaminantes en la región industrial de Ica, ya que estas diferencias pueden requerir enfoques específicos y un análisis detallado para comprender plenamente cómo los contaminantes se propagan en esta área específica[7].

Los estudios de trazadores atmosféricos representan una herramienta invaluable y económicamente eficiente para la identificación y caracterización de fuentes industriales a lo largo de la Panamericana Sur, así como para comprender la compleja dispersión de contaminantes en terrenos costeros accidentados, especialmente en condiciones meteorológicas desafiantes. Estos estudios permiten rastrear el movimiento y la propagación de contaminantes a través de la atmósfera, brindando información crucial para evaluar los impactos ambientales y para el diseño de estrategias de mitigación efectivas en esta región geográficamente diversa[7].

La contaminación del aire constituye un proceso mediante el cual una amplia gama de contaminantes es liberada en la atmósfera, ocasionando perjuicios tanto a la salud humana como a otros organismos vivos, además de tener un impacto negativo en el entorno natural. Este fenómeno representa una grave amenaza para la calidad del aire que respiramos y para la integridad de nuestros ecosistemas, y es imperativo abordar eficazmente esta problemática a fin de preservar la salud de la población y conservar la biodiversidad de nuestro medio ambiente[8]. Los efectos adversos en los problemas de salud causados por la contaminación del aire, ya sea en ambientes interiores o exteriores, han suscitado una profunda inquietud debido al elevado riesgo de exposición, incluso a concentraciones de contaminantes atmosféricos que se consideran relativamente bajas. Esta preocupación se fundamenta en la sólida evidencia de que la exposición continua a contaminantes del aire, como partículas finas y compuestos químicos nocivos, está vinculada a una serie de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otras afecciones crónicas. Por tanto, abordar de manera efectiva es fundamental abordar la contaminación del aire para proteger la salud pública y promover un entorno más seguro y saludable para la sociedad en

su conjunto[9]. Cada año, se estima que más de dos millones de vidas se pierden en todo el mundo como resultado directo de la contaminación del aire, lo cual provoca daños significativos en los pulmones y en el sistema respiratorio. Estas cifras alarmantes subrayan la gravedad de los impactos de la mala calidad del aire tiene un impacto significativo en la mala calidad del aire tiene un impacto significativo en la salud humana, destacando la urgencia de implementar medidas efectivas para abordar esta amenaza a nivel global [8].

1.2. Antecedentes del problema

1.2.1. Antecedentes Internacionales

La estimación de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión es una necesidad crucial en la gestión de la calidad del aire urbano en la ciudad de Cuenca. Esta acción es fundamental para obtener un inventario preciso de emisiones que permita evaluar el impacto ambiental en la atmósfera, con consecuencias directas en la salud de la población y en el equilibrio del ecosistema local. El objetivo principal de esta investigación fue calcular y estimar las emisiones atmosféricas de los contaminantes más representativos generados por procesos de combustión en fuentes fijas. Esto sienta las bases para tomar medidas adecuadas de control de la contaminación y avanzar hacia un entorno más saludable y sostenible en la ciudad[10].

La contaminación del aire se ha convertido en un tema de investigación de gran relevancia en todos los ámbitos debido al aumento constante de las actividades humanas y los cambios climáticos asociados. Estos fenómenos están estrechamente relacionados con la búsqueda de la industrialización, tanto en las naciones desarrolladas como en desarrollo a nivel mundial. La calidad del aire se ha convertido en un factor crítico para la salud humana, equiparable en importancia a la seguridad del agua y los alimentos. No obstante, una considerable proporción de la población en países en vías de desarrollo se ve expuesta a la inhalación de aire contaminado, generado por la combustión de combustibles fósiles, biomasa y otras fuentes difusas. Esta realidad subraya la urgente

necesidad de abordar la contaminación del aire como un desafío global que impacta directamente en la salud y el bienestar de las comunidades en todo el mundo[11].

Los países desarrollados, como Europa y Estados Unidos, han empleado exitosamente modelos de calidad del aire basados en el enfoque gaussiano, como ADMS y AERMOD, que, a pesar de su alta complejidad, destacan por su facilidad de uso en la gestión local de la calidad del aire. Sin embargo, su aplicación se ha visto limitada en naciones en desarrollo como Nigeria debido a la falta de datos de entrada, los costos asociados con su obtención y evaluación, así como las restricciones temporales que esto conlleva. Esto subraya la necesidad de adaptar enfoques y soluciones más accesibles y adecuadas a las condiciones de países en desarrollo para abordar eficazmente la calidad del aire y sus impactos en la salud pública[11]. El estudio introdujo un modelo gaussiano modificado de carácter simplificado y amigable en términos de su manejo, al requerir un reducido número de parámetros de entrada. Este modelo se empleó con el propósito de anticipar los patrones de dispersión de contaminantes gaseosos, en particular, monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO2). La finalidad principal radicó en evaluar la contribución de la fuente emisora, en este caso, la chimenea, a la contaminación del aire ambiente, con un enfoque en la posible repercusión sobre la salud de la población, estableciendo así una conexión crucial entre la calidad del aire y sus efectos directos en la salud humana[11].

Es crucial destacar que, en la región costera de Ica, las condiciones meteorológicas y la topografía tienden a diferir significativamente de las características presentes en las regiones interiores. Esta divergencia ejerce una influencia sustancial en la complejidad de caracterizar la dispersión de contaminantes, dado que la proximidad al mar introduce variaciones en la dirección y velocidad del viento, junto con niveles de humedad atmosférica distintos, factores que impactan en la dinámica de dispersión. Además, la coexistencia de actividades industriales y el tráfico vehicular en la zona

industrial de la ciudad de Ica complica aún más esta caracterización, ya que estas fuentes múltiples generan diversos contaminantes con comportamientos diferentes en la atmósfera. La interacción de estas fuentes con la topografía local y las condiciones meteorológicas crea un escenario desafiante que dificulta la predicción y modelado de la dispersión de contaminantes en comparación con las regiones del interior. Por lo tanto, es esencial considerar estas particularidades en la investigación, abordando la dispersión de contaminantes en la zona industrial de Ica con un enfoque específico y un análisis detenido para comprender a fondo cómo se propagan estos contaminantes en este contexto geográfico singular.

1.2.2. Antecedentes nacionales

En los últimos años, la contaminación atmosférica ha emergido como uno de los desafíos ambientales más apremiantes, resultado de una combinación de factores que incluyen desastres naturales y el impacto de actividades de origen humano. Estos elementos han deteriorado significativamente la calidad del aire, generando inquietud tanto en la sociedad como en las autoridades encargadas de la protección ambiental. El estudio de Bustillos, que se centra en la contaminación originada por las chimeneas de las industrias de la región, clasificadas como fuentes fijas, arroja luz sobre esta problemática al evaluar la contribución de estas fuentes específicas a la contaminación atmosférica. Este enfoque investigativo es crucial para comprender y abordar de manera efectiva los efectos nocivos de la contaminación del aire en la salud humana y el entorno ambiental local[12].

Los resultados obtenidos mediante la modelación gaussiana revelan la influencia de las chimeneas asociadas a los calderos 17 y 20 de la empresa Cartavio S.A.A. en las áreas circundantes, abarcando sectores de la ciudad de Cartavio, particularmente el sector El Ingenio, así como los campos agrícolas al norte de la empresa. Estos resultados apuntan a una conclusión positiva, indicando que la empresa ha logrado mejorar su desempeño ambiental al reducir sus emisiones y, en consecuencia, su impacto en la calidad del aire de las zonas adyacentes. Es importante

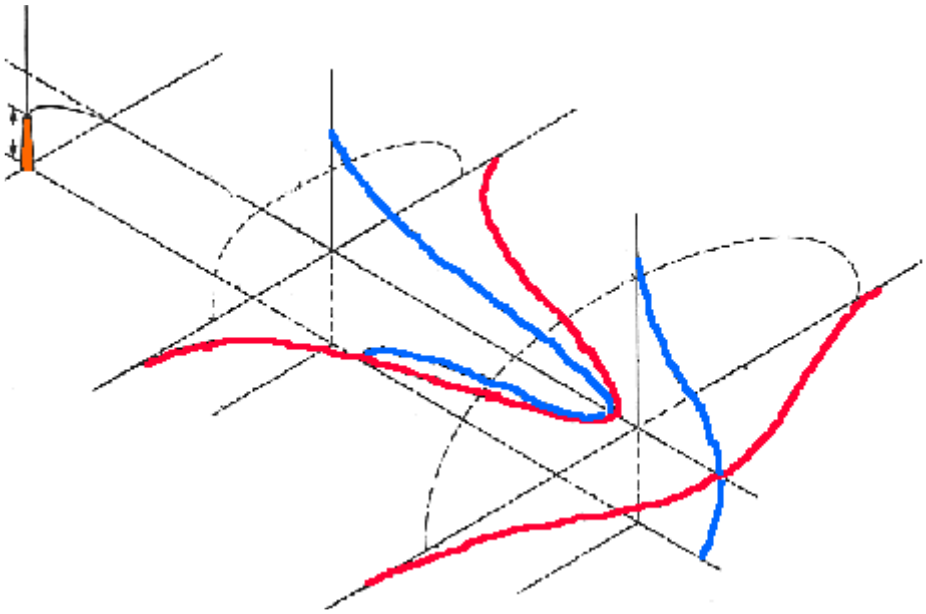
destacar que, según los datos analizados, las emisiones de la empresa no superarían los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) establecidos, lo que subraya los avances en la gestión ambiental de la empresa y su contribución a la preservación de la calidad del aire en su entorno inmediato [13].

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Modelo Gaussiano

El modelo gaussiano simplificado de difusión en la atmósfera depende de la velocidad media del viento y de las características de la turbulencia atmosférica. Estos factores determinan las características de estabilidad de la atmósfera. La turbulencia consiste en remolinos horizontales y verticales que mezclan el contaminante con el aire circundante. En una columna, la turbulencia reduce la concentración de contaminantes en la columna y aumenta la concentración en el aire circundante. Cuando la turbulencia es fuerte, los contaminantes se dispersan más rápidamente. En una atmósfera inestable existe una fuerte turbulencia en la que se intensifica el movimiento vertical. La máxima inestabilidad se produce en verano, en un día despejado y soleado por la tarde. Por el contrario, cuando la turbulencia es débil, existe un ambiente muy estable. Esta condición sería más pronunciada en un día despejado de invierno, temprano en la mañana, al igual que el amanecer.

A medida que una columna de contaminante avanza en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración de la mezcla turbulenta adquiere una distribución gaussiana; si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará una columna en forma de cono, si la concentración en la línea central La intensidad de la columna será máxima a una distancia cercana de la fuente emisora y disminuirá en la dirección a favor del viento; a medida que aumenta la distancia a favor del viento [14].



Fuente. Tema 2. "Modelos de concentración de contaminantes atmosféricos" [15].

Figura 1 Sistema de coordenadas y nomenclatura para idea gaussiana columna de humo*[16]*

1.3.2. Dispersión de contaminantes

Cabrera, a medida que una pluma de contaminantes avanza en la dirección del viento, el modelo gaussiano asume que el perfil de concentración de contaminantes, generado por la mezcla turbulenta en la atmósfera, se distribuye de acuerdo con una forma gaussiana. Esta suposición implica que la concentración de contaminantes es más alta en el centro de la pluma y disminuye gradualmente hacia los lados, siguiendo una distribución de campana que caracteriza la dispersión atmosférica. Esta representación es fundamental en la modelación de la dispersión de contaminantes y proporciona información valiosa para comprender cómo se propagan y dispersan los contaminantes en un área determinada[16].

Continua ***Cabrera***, "si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará una pluma en forma de cono. La concentración en la línea central de la pluma será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo"[16]. Conforme la pluma de contaminantes avanza en la dirección del viento, a medida que aumenta

la distancia en esa dirección, los extremos de la pluma pueden llegar a colisionar con el terreno circundante, tal como se ilustra en la Figura 1. Este fenómeno puede tener implicaciones importantes en la dispersión de contaminantes, ya que los obstáculos geográficos como colinas, valles o edificios pueden influir en la dirección y patrón de dispersión de los contaminantes, generando variaciones en la concentración y en la forma en que estos se distribuyen en el entorno[16].

1.3.3. Material Particulado - PM 10

[17]“Son partículas que se encuentran dispersas en el aire y cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 micrómetros (un micrón es la milésima parte de un milímetro)”. “Estas partículas se encuentran flotando en el aire y pueden ser solidas o liquidas, orgánicas e inorgánicas siendo su origen mayoritariamente natural las mismas que debido a su pequeño tamaño tienen una velocidad de sedimentación muy baja” pudiendo mantenerse en el aire por mucho tiempo y logrando alcanzar distancias de hasta 30 millones con referencia a su lugar de emisión. Las mismas que al ser inhaladas afectan la salud de las personas penetrando en las vías respiratorias pudiendo en su camino adherirse a sus paredes y ocasionar síntomas respiratorios severos (tos, dificultad para respirar, agrava el asma) y llegar hasta los pulmones produciendo enfisemas o cáncer pulmonar. También producen alteraciones en la coagulación de la sangre y en la mayor incidencia en el desarrollo de las enfermedades cardiacas.

1.3.4. Modelo de penacho Gaussiano a nivel del suelo

Según [18], el enfoque más completo de la teoría del transporte se basa en el «modelo de difusión turbulenta», que implica a su vez el concepto de la «longitud de mezclado». Esto constituye el punto inicial más simple en el desarrollo de un modelo para la dispersión en la atmosfera. La ecuación básica de este modelo es matemáticamente muy compleja, pero haciendo suposiciones de poca importancia, se puede reducir a la forma:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_{xx}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right) + K_{yy}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}\right) + K_{ZZ}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right) \quad (1)$$

La ecuación (1), de transporte basada en el modelo de difusión turbulenta de dispersión de contaminantes en la atmosfera se conoce como la ecuación de Fick.

Para el modelo gaussiano se hacen las siguientes suposiciones:

a. La concentración del contaminante emana de una fuente puntual continua
b. El proceso está en estado estacionario, esto es, $\partial C/\partial t = 0$
c. El eje (x), se alinea con la dirección del viento
d. La velocidad del viento (u), es constante en cualquier punto del sistema de coordenadas x, y, z
e. El transporte de contaminantes debido al viento en la dirección x predomina sobre la difusión descendente, esto es, $u(dC/dx) >> Kxx(\partial^2 C/\partial x^2)$.
f. No hay reacción química, o equivalentemente, se considera que la especie modelada es inerte.

Según, [19] la mayor ventaja de los modelos de penacho Gaussiano es que tienen un tiempo de respuesta extremadamente rápido, casi inmediato. Su cálculo se basa únicamente en resolver una única fórmula para cada punto receptor, y el coste computacional del modelo consiste principalmente en el preprocesamiento de datos meteorológicos y la parametrización de turbulencias.

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z v}.exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right).\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z}exp\left(\frac{(z-L)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

Con la ecuación (2) desarrollada, para determinar la posición y el valor de concentración máxima que se podrá esperar en la línea central a nivel del suelo para una fuente puntual elevada.

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{2\pi\,\sigma_y\sigma_z v}.exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3)$$

Para tal efecto, la C(x,0,0) según la ecuación (3). La tasa de emisión de la fuente (Q) es constante; La dispersión (difusión) es insignificante en la dirección del viento; Las condiciones meteorológicas horizontales son homogéneas en el espacio modelado. La velocidad del viento es constante. La altura de la pluma es constante. Sin viento cortante en el plano horizontal o vertical. Los contaminantes son gases no reactivos; El penacho se refleja en la superficie sin deposición ni reacción con la superficie.

1.3.5. Concentraciones de material particulado a nivel del suelo

"El material particulado (PM) es el parámetro clave de las redes de monitoreo de la calidad del aire debido a su efecto sustancial en la salud humana, el clima y el medio ambiente"[9]. "Las observaciones terrestres de PM pueden proporcionar concentraciones distribuidas espacial y temporalmente en los centros urbanos, ya que las redes de monitoreo existen principalmente en las grandes ciudades"[20].

"Sin embargo, las mediciones in situ no brindan información adecuada sobre la distribución espacial de las partículas debido a la concentración altamente variable en el espacio y el tiempo"[21]. "No siempre se prefieren a menos que se requieran debido a sus altos costos operativos. La cobertura temporal de las mediciones de PM in situ también varía según la funcionalidad del instrumento y el período de operación" [21].

1.3.6. Clasificación y fuente de material particulado (PM)

"Aunque el PM puede definirse o clasificarse de varias formas, el diámetro aerodinámico es uno de los principales criterios para describir su capacidad de transporte en la atmósfera y/o capacidad de inhalación a través de un organismo respiratorio"[9]. "La EPA ha estado regulando partículas principalmente en dos categorías de tamaño basadas en su capacidad de penetración prevista en el pulmón como"[9].

(i) "Material particulado grueso (PM10) con un diámetro aerodinámico de 10 μm

(ii) Material particulado fino (PM2.5) con un diámetro aerodinámico de 2,5 μm"[9].

"Estos PM provienen principalmente de una amplia gama de fuentes que incluyen polvo de carreteras, polvo agrícola, lechos de ríos, sitios de construcción, operaciones mineras y actividades similares"[22].

1.3.7. Fuente puntual continua

"En respuesta a una creciente preocupación por los temas ambientales, especialmente sobre la calidad del aire en las ciudades, se han realizado muchos trabajos científicos sobre modelos de dispersión de la contaminación atmosférica durante las últimas décadas"[23].

"Las especies químicas y los contaminantes tienen varias vías de emisión a la atmósfera. Pueden ser emitidas desde varias fuentes:"[23]

Fuentes puntuales:

- Chimeneas de plantas industriales,
- Erupciones volcánicas,
- Descargas accidentales en centrales nucleares

Fuentes lineales:

- Autopistas

Fuentes de área:

- Emisiones de precursores fotoquímicos de smog e
- Incendios forestales"[23]

La deposición, el transporte y la interacción de partículas con edificios u obstáculos pueden ser abordados mediante diversos modelos y enfoques de modelado. Estos métodos pueden incluir modelos de dispersión atmosférica que tienen en cuenta factores como la velocidad y dirección del viento, la altura de los edificios y las propiedades físicas de las partículas para predecir cómo se dispersan y depositan en un área determinada. Además, se pueden utilizar modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD) para simular el movimiento y el comportamiento detallado de las partículas en presencia de obstáculos. La elección del

método de modelado depende de la complejidad del escenario y de los resultados específicos que se busquen obtener en la investigación [23].

Es cierto que muchos estudios sobre modelos de dispersión de la contaminación han tenido un enfoque predominante en entornos a gran escala, donde se consideran áreas extensas y condiciones atmosféricas generales. Estos modelos son valiosos para comprender cómo los contaminantes se dispersan en regiones amplias y pueden proporcionar información esencial para la gestión de la calidad del aire a nivel regional o incluso global. Sin embargo, también es importante destacar que existen modelos y enfoques específicos diseñados para entornos a menor escala, como áreas urbanas o industriales, donde la influencia de fuentes puntuales de contaminación, edificios y otros factores locales pueden desempeñar un papel crucial en la dispersión de contaminantes. Por lo tanto, la elección del modelo y el enfoque de modelado depende de la escala y la naturaleza específica del problema que se está investigando. [24], [25]. “En estos casos, cuando los obstáculos o las dimensiones de los edificios son insignificantes en comparación con la sección transversal de la pluma dispersante, generalmente se utilizan modelos de dispersión convencionales, como los modelos gaussianos”[26] o “los modelos lagrangianos”[27] “para simular los flujos y patrones de dispersión” [23].

“La interacción de la pluma continua liberada de fuentes puntuales con edificios y otras estructuras es el factor principal que afecta la dispersión a corto alcance de los contaminantes atmosféricos en las áreas urbanas”[23]. “En estos casos, es necesario el uso de algunos estudios de campo y experimentos en túnel de viento para explicar mejor esta interacción”[23].

1.3.8. Velocidad del viento con elevación

La velocidad del viento utilizada en el estudio corresponde a la velocidad del viento a la altura efectiva de la pluma o chimenea. Esta velocidad del

viento fue medida utilizando una estación meteorológica de la marca Davis Instruments, modelo Vantage Vue, la cual fue posicionada a una altura de 2.5 metros sobre el nivel del suelo. Además, es fundamental tener en cuenta la estabilidad atmosférica, ya que esta juega un papel crucial en la dispersión de contaminantes. La estabilidad atmosférica se refiere a las condiciones en la atmósfera que pueden influir en la elevación de los contaminantes y en su capacidad para dispersarse. Por lo tanto, comprender y considerar la estabilidad atmosférica es esencial para obtener resultados precisos en la modelación de la dispersión de contaminantes, Tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de estabilidad atmosférica (Turner)[18]

Velocidad del viento superficial (m/s)	Insolación diurna			Nubosidad nocturna[b]	
	Fuerte[a]	Moderado[b]	Ligera[c]	Nublado (≥ 4/8)	Despejado (≤ 3 /8)
< 2	A	A - B	B	E	F
2-3	A – B	B	C	E	F
3-5	B	B – C	C	D	E
5-6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

[a] Corresponde a un día de verano claro con sol a más de 60° de elevación sobre la línea del horizonte
[b] Corresponde a un día de verano con algunas nubes o un día claro con el sol entre 35-60° de elevación sobre la línea del horizonte
[c] Corresponde a un crepúsculo o un día de verano nublado, o a un día de verano claro con el sol entre 15-30° sobre la línea del horizonte.

1.3.9. Desviación normal en la dirección del viento

En la estimación de la dispersión de gases emitidos desde una fuente específica, generalmente se optará por considerar la clase de estabilidad atmosférica que sea típica de la región y que conduzca al escenario de contaminación más desfavorable. Cabe señalar que, debido a las limitaciones en el tamaño de las Figuras 2 y 3, tal como han sido presentadas por Turner, se deben tomar ciertas consideraciones adicionales para evaluar la dispersión de contaminantes de manera precisa[18]. es difícil leer en dichas gráficas los valores de σ_y y σ_z, sin

experimentar alguna pérdida de exactitud. Tomando como referencia la información proporcionada en la Tabla 2, que presenta valores aproximados de σ_y (desviación estándar en la dirección transversal al viento) y σ_z (desviación estándar en la dirección vertical) en función de la distancia a favor del viento para las distintas clases de estabilidad atmosférica, así como la Tabla 3, que proporciona los valores de las constantes utilizadas en la ecuación según la distancia a favor del viento y la categoría de estabilidad, se pueden extraer una serie de valores correspondientes a estas dos variables (σ_y y σ_z) para diferentes distancias a favor del viento. Estos valores variarán según la categoría de estabilidad atmosférica, lo que permite obtener una representación cuantitativa de cómo cambian las dimensiones de la pluma de contaminantes en función de la distancia a favor del viento y las condiciones de estabilidad en el modelo de dispersión.

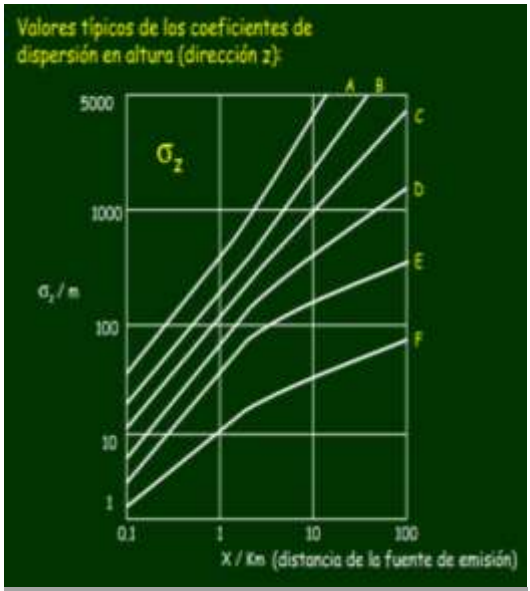


Figura 3 Desviación normal, σ_y en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento

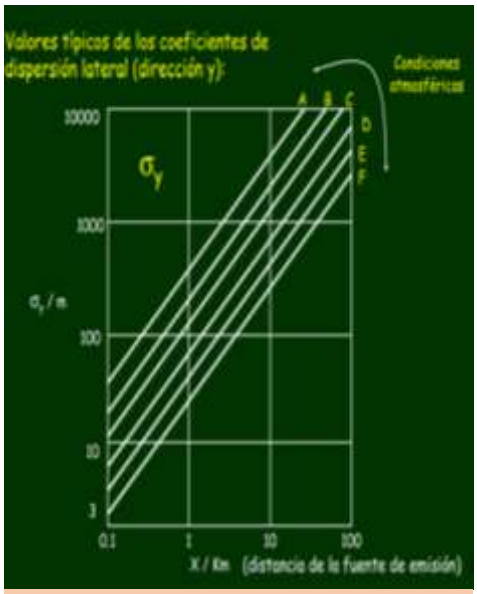


Figura 2 Desviación normal, σ_z en la dirección vertical, como una función de la distancia en la dirección del viento

Fuente: D.B. Turner Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Washington,D.C. 1969

Tabla 2 Valores aproximados de σy y σz, en función de la distancia a favor del viento para las distintas clases de estabilidad

Distances (Km)	Stability classes and values of σ_y						Stability classes and values ofσ_z					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
0.1	27	19	13	**8**	6	4	14	11	7	**5**	4	2
0.2	50	36	23	**15**	11	8	29	20	14	**8**	6	4
0.4	94	67	44	**29**	21	14	72	40	26	**15**	11	7
0.7	155	112	74	**48**	36	24	215	73	43	**24**	17	11
1.0	215	155	105	**68**	51	34	455	110	61	**32**	21	14
2.0	390	295	200	**130**	96	64	1950	230	115	**50**	34	22
4.0		530	370	**245**	180	120		500	220	**77**	49	31
7.0		880	610	**400**	300	200		780	360	**109**	66	39
10.0		1190	840	**550**	420	275		1350	510	**135**	79	46
20.0		2150	1540	**1000**	760	500		2900	950	**205**	110	60

Tabla 3 Valores de las constantes a utilizar en la ecuación en función de la distancia en la dirección del viento y de la condición de estabilidad

Stability	X < 1 km				X > 1 km		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0
D	**68**	**33.2**	**0.725**	**-1.7**	**44.5**	**0.516**	**-13.0**
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

1.3.10. Vulnerabilidad

Según ***Villegas***, "Se entiende por vulnerabilidad la susceptibilidad al daño que tienen los elementos expuestos a un determinado peligro"[28]. Además, "la evaluación de vulnerabilidad permite determinar los diferentes grados de afectación, que podrían darse como consecuencia de

la incapacidad física de resistir el impacto de algún peligro o amenaza natural"[28].

Según ***Olokeogun & Kumar***, "Actividades antropogénicas como nuevos edificios residenciales, infraestructura (como carreteras), actividades agrícolas y actividades comerciales (industrial establecido) fueron algunos de los factores que contribuyeron a la vulnerabilidad de zonas ribereñas"[29]

Tipos de Vulnerabilidad

Según ***INDECI,*** "El Instituto Nacional de Defensa Civil establece los siguientes tipos de vulnerabilidad: ambiental y ecológica, física, económica, social, educativa, cultural e ideológica, política e institucional y científica y tecnológica. Se ha establecido solo evaluar la vulnerabilidad ambiental de la zona" [30].

1.4. Formulación del problema

La problemática central de esta investigación reside en la urgente necesidad de comprender y gestionar de manera efectiva la dispersión de contaminantes en el sector industrial de Ica, específicamente durante el año 2022. Uno de los desafíos cruciales que esta investigación busca abordar es el impacto negativo en la salud pública. La industrialización de la región de Ica ha traído consigo un aumento en las emisiones de contaminantes en el aire, lo que plantea un riesgo significativo para la salud de la población local. La falta de una comprensión detallada de cómo estos contaminantes se dispersan y afectan a las comunidades cercanas se ha convertido en una preocupación prioritaria que requiere una solución adecuada.

Otro aspecto importante de esta problemática es la gestión ambiental. La contaminación del aire no solo amenaza la salud humana, sino que también puede tener un impacto perjudicial en el medio ambiente. Esto incluye la contaminación de suelos y cuerpos de agua, así como daños a la flora y fauna locales. La falta de una gestión efectiva de la dispersión de contaminantes podría

poner en peligro la integridad de los ecosistemas en la región, lo que a su vez afectaría la calidad de vida de las generaciones futuras.

Además, esta problemática también abarca el riesgo industrial. La falta de conocimiento sobre cómo se propagan los contaminantes en la atmósfera podría aumentar los riesgos dentro de las instalaciones industriales.

Finalmente, la problemática se relaciona con el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Las autoridades reguladoras y las empresas industriales necesitan datos precisos y actualizados sobre la dispersión de contaminantes para cumplir con las normativas ambientales vigentes y garantizar un desarrollo industrial sostenible que no comprometa la salud pública ni el medio ambiente.

1.4.1. Problema general

¿De qué manera el uso del modelo gaussiano contribuye en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022?

1.4.2. Problemas específicos

PE1: ¿Como la aplicación del modelo gaussiano como herramienta efectiva se relaciona entre la fuente y la distancia en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022?

PE2: ¿En qué medida los parámetros meteorológicos que influyen significativamente en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022?.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

Mostrar el uso del modelo gaussiano que contribuye en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022.

1.5.2. Objetivos Específicos

OE1: Evaluar la aplicación del modelo gaussiano como herramienta efectiva que relaciona entre la fuente y la distancia en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022.

OE2: Registrar los parámetros meteorológicos que influyen significativamente en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022.

1.6. Hipótesis y variables de la investigación

1.6.1. Hipótesis principal

El uso del modelo gaussiano contribuye en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022.

1.6.2. Hipótesis Específicas

HE1: La aplicación del modelo gaussiano como herramienta efectiva se relaciona entre la fuente y la distancia en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022.

HE2: Los parámetros meteorológicos influyen significativamente en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022.

1.7. Variables

1.7.1. Variable independiente

Uso del modelo gaussiano:

El uso del modelo gaussiano es una herramienta para predecir la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Este modelo se basa en la hipótesis de que la distribución de los contaminantes en la atmósfera sigue una distribución normal. El modelo gaussiano se utiliza para calcular la concentración de contaminantes en un punto dado a partir de la cantidad de contaminantes emitidos, la velocidad y dirección del viento, las condiciones meteorológicas y la topografía del terreno[31]. El

uso del modelo gaussiano es una herramienta que utiliza la distribución normal para predecir la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Esta herramienta se basa en la cantidad de contaminantes emitidos, la velocidad y dirección del viento, las condiciones meteorológicas y la topografía del terreno

1.7.2. Variable dependiente

Dispersión de contaminantes

La dispersión de contaminantes es el proceso por el cual los contaminantes se mezclan y se distribuyen en la atmósfera. Este proceso está influenciado por factores físicos, como la velocidad y dirección del viento, las condiciones meteorológicas y la topografía del terreno [16]. La dispersión de contaminantes es la distribución de los contaminantes en la atmósfera. Este proceso está influenciado por el viento, las condiciones meteorológicas y el terreno [16]

1.7.3. Operacionalización de Variables

Tabla 4 Variable independiente y variable dependiente

Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
VI: **Uso del modelo gaussiano**	A la aplicación de la distribución gaussiana, una función matemática que describe la distribución de datos en forma de campana, con un valor medio y una desviación estándar, con el propósito de analizar y comprender la distribución y el comportamiento de un conjunto de datos o fenómeno particular, realizando cálculos estadísticos y estimaciones de probabilidades para obtener información relevante [16]	**$D_{I,2}$:** Parámetros meteorológicos	**$I_{I,1,1}$:** Temperatura, **$I_{I,1,2}$:** Humedad relativa, **$I_{I,1,3}$:** Velocidad del viento **$I_{I,1,4}$:** Dirección del viento **$I_{I,1,5}$:** Presión atmosférica	°C % m/s mmHg
VD: **Dispersión de contaminantes**	Al fenómeno que se está estudiando en una investigación, el cual implica la distribución y la propagación de sustancias o elementos contaminantes en un entorno específico, como el sector industrial de Ica. Esta variable representa cómo los contaminantes se dispersan y se extienden en el área de estudio, y su análisis puede incluir la identificación de patrones de dispersión, la evaluación de concentraciones, la estimación de riesgos ambientales y la formulación de medidas de mitigación para abordar posibles impactos adversos en la salud y el medio ambiente [32].	**$D_{D,1}$:** Relación entre la fuente y la distancia	**$I_{D,1,1}$**: Concentraciones de material particulado	µg/m^3

1.8. Justificación e Importancia

1.8.1. Justificación

La contaminación atmosférica representa una amenaza significativa para la salud humana en todo el mundo, y esta preocupación se hace aún más apremiante en la región de Ica, específicamente en la zona industrial ubicada en el km 241. Esta área industrial, que alberga diversas actividades manufactureras y productivas, a menudo emite una variedad de contaminantes atmosféricos, como partículas finas, compuestos orgánicos volátiles y gases tóxicos. Lo que hace que esta situación sea aún más crítica es la presencia de comunidades cercanas a estas instalaciones industriales, donde residen personas que pueden verse directamente afectadas por la calidad del aire y los contaminantes liberados en su entorno. Por lo tanto, es imperativo llevar a cabo investigaciones y acciones de control ambiental en esta área para proteger la salud y el bienestar de las comunidades locales y abordar eficazmente esta amenaza a la salud pública [33]. Los contaminantes residuales industriales, como el carbón pulverizado y las cenizas volantes liberadas por plantas químicas, constituyen una categoría crítica de fuentes de contaminantes atmosféricos en el entorno industrial. Su dispersión en la atmósfera y su posterior impacto en la calidad del aire están fuertemente influenciados por factores geográficos y ambientales específicos, incluido el relieve circundante y las condiciones atmosféricas locales. La comprensión de cómo estas fuentes de contaminación interactúan con su entorno es esencial para evaluar y mitigar los riesgos asociados a la contaminación del aire en áreas industriales como la mencionada, con el objetivo de proteger la salud pública y el medio ambiente[34]. A pesar de la creciente preocupación por la calidad del aire en parques industriales, aún existe una falta de comprensión completa sobre cómo factores específicos, como el relieve y las condiciones ambientales, influyen en la dispersión de contaminantes dentro de estas áreas. Esta falta de claridad en los detalles y mecanismos de dispersión de contaminantes dentro de los parques industriales es un vacío

importante en la investigación. Por consiguiente, se vuelve esencial llevar a cabo investigaciones dedicadas a comprender en profundidad estos procesos, ya que esta comprensión es crucial para salvaguardar la salud de las poblaciones que residen en las cercanías de estos parques industriales. En consecuencia, la investigación en la dispersión de contaminantes dentro de los parques industriales se convierte en una prioridad creciente, con el objetivo de proteger la salud humana en estas regiones industriales[35].

1.8.2. Importancia

La importancia en la salud pública es una preocupación fundamental. La contaminación atmosférica y la dispersión de contaminantes pueden tener efectos adversos significativos en la salud de las personas que viven y trabajan en áreas industriales. Esta investigación tiene el potencial de proporcionar información crítica sobre los niveles de exposición a contaminantes y los posibles riesgos para la salud, lo que es crucial para proteger a la población local de posibles amenazas.

Además de la salud humana, esta investigación también aborda la protección del medio ambiente circundante. La calidad del aire y la dispersión de contaminantes pueden afectar la vegetación, la calidad del agua y los ecosistemas en general. Por lo tanto, comprender cómo se dispersan los contaminantes es fundamental para la conservación y gestión ambiental adecuada de la región de Ica y sus alrededores.

En un contexto más amplio, los resultados de esta investigación pueden tener implicaciones importantes en términos de regulación y políticas ambientales. Los datos y conclusiones pueden proporcionar información valiosa a las autoridades locales y nacionales, ayudando a establecer regulaciones más efectivas y políticas de gestión industrial que reduzcan los impactos negativos de la contaminación en el área.

Para el sector industrial en sí, esta investigación puede ser un recurso valioso. Las empresas pueden beneficiarse al comprender mejor cómo sus actividades pueden afectar a las comunidades circundantes y al medio ambiente. Esto puede motivar la implementación de prácticas más sostenibles y responsables, lo que a su vez puede tener un impacto positivo en su reputación y en la percepción pública.

Por lo tanto, esta investigación contribuye al desarrollo económico sostenible de la región de Ica. Al abordar los riesgos asociados con la contaminación y al mejorar la calidad de vida de sus habitantes, se puede lograr un desarrollo más equilibrado y sostenible en la región, fomentando un entorno más saludable para vivir y trabajar. En resumen, esta investigación tiene un alcance amplio y esencial debido a su capacidad para mejorar la calidad de vida, proteger el medio ambiente y promover prácticas industriales más responsables en la región de Ica y sus alrededores [35].

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Área de estudio

El área de estudio en la investigación "Dispersión de contaminantes mediante el uso del modelo gaussiano en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022" es la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica. Esta zona está definida por las autoridades locales como el área que está potencialmente expuesta a los contaminantes emitidos por las industrias de la zona. El área de estudio tiene una extensión de aproximadamente 10 km².

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Ica, que forma parte de los catorce distritos que componen la provincia de Ica, ubicada en el departamento de Ica, bajo la jurisdicción del Gobierno Regional de Ica, en Perú. El distrito de Ica se encuentra geográficamente situado en las coordenadas 14°4′0″ S y 75°44′0″ W, con coordenadas UTM de 8444778 420828 en la zona 18L, y a una altitud promedio de aproximadamente 105 metros sobre el nivel del mar.

Fuente: https://www.familysearch.org/es/wiki/Ica,_Ica,_Per%C3%BA_-_Genealog%C3%ADa

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Ica#/media/Archivo:Peru_-_Ica_Department_(locator_map).svg

Figura 4 Mapa de los distritos de Ica y mapa del Peru

El monitoreo se realizó en la Calle B, dentro de la urbanización Parque Industrial de Ica, en la proximidad de la entrada hacia la Carretera Panamericana Sur, donde se ubican diversas industrias. Cabe destacar que esta zona industrial también alberga viviendas construidas con materiales sólidos, lo que la distingue de otras áreas industriales.

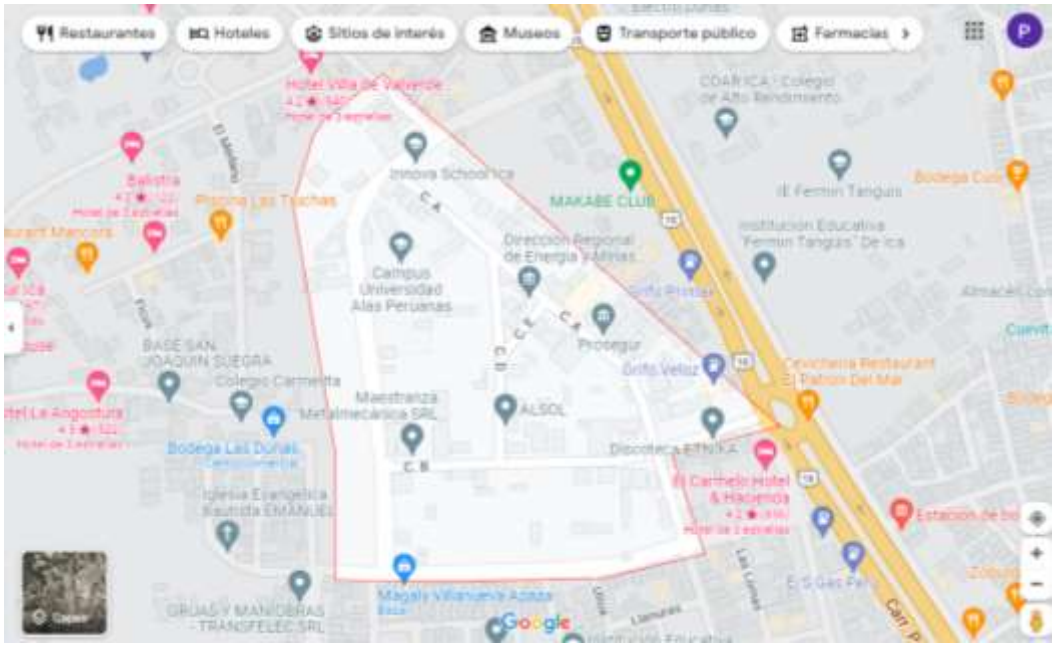


Figura 5 Parque industrial de Ica

Figura 6 Puntos de monitoreo en la calle B (C.B), parque industrial de Ica

2.2. Metodología de investigación

2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación realizada en este estudio se define como una investigación aplicada, se aplicaron los conocimientos existentes para aplicar soluciones viables, además es de tipo observacional-prospectivo-transversal [36].

Nivel de investigación

La investigación adopta un enfoque de nivel descriptivo-explicativo, lo que implica no solo proporcionar una descripción detallada de tema de estudio realizado, sino también buscar comprender las causas o relaciones subyacentes que explican las observaciones.

Se empleado el equipo Hybol para la recolección de datos como para reunir información sobre sobre la variable de estudio y, posteriormente, se analizaron en busca de patrones y relaciones[36].

Diseño de la investigación

El diseño de investigación utilizado en este estudio es de carácter no experimental. Este diseño permite explorar y describir fenómenos, relaciones y tendencias en su contexto natural, sin la introducción de cambios deliberados. La ventaja de este enfoque es su capacidad para reflejar la realidad tal como se presenta y proporcionar una base sólida para la comprensión y la interpretación de los datos recopilados [36].

2.2.2. Población y muestra

Población

Esta zona está definida por las autoridades locales como el área que está potencialmente expuesta a los contaminantes emitidos por las industrias de la zona.

Muestra

La muestra se utilizará para medir la concentración de contaminantes en la zona de vulnerabilidad. Los resultados de la medición se utilizarán para evaluar la eficacia del modelo gaussiano para predecir la dispersión de contaminantes [36].

2.2.3. Técnicas de recolección de datos

En el proceso de adquisición de información empleado en la investigación concerniente a la dispersión de contaminantes en el sector industrial de Ica, se implementaron técnicas específicas de recolección de datos.

2.2.4. Instrumentos de recolección de datos

- Formatos de Recolección de datos[37]
- Fichas de laboratorio

Figura 7 Equipo de toma de muestra de alto volumen (High Vol)

2.2.5. Técnicas de procesamiento de datos

- Para el procesamiento de datos se empleará el MS Excel que se registraran en tablas y gráficos ilustrativos,
- El parámetro medido en los puntos de monitoreo, (TQ-01 / TQ-02) descritos en la tabla 2, fueron los siguientes.
- Se consideró la evaluación de parámetros meteorológicos en los Puntos de Monitoreo TQ-01 / TQ-02 con el fin de determinar la influencia de dichos parámetros sobre los resultados de calidad del aire en la zona de investigación indicada.
- Los parámetros evaluados fueron:
    - ✓ Temperatura ambiental (°C)
    - ✓ Presión barométrica (mmHg)
    - ✓ Humedad relativa (%)
    - ✓ Velocidad del viento (m/s)
    - ✓ Dirección del viento”

2.2.6. Análisis e interpretación de datos

“La documentación que se realizara será encausada mediante el software Excel, del mismo modo se analizara cuantitativamente mediante la hipótesis estadística, para su subsiguiente explicación”[37].

2.3. Marco legal

La norma legal, utilizada para la comparación de os valores del análisis de los parámetros de calidad del aire es el siguiente:

La aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Aire, junto con la implementación de las Disposiciones Complementarias, ha sido establecida mediante el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM. Esta medida tiene como objetivo principal definir y regular los estándares que deben cumplirse en relación con la calidad del aire, asegurando así un ambiente más saludable y sostenible. Estos estándares representan un marco regulatorio importante para la gestión y control de la contaminación atmosférica, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente[38].

III.RESULTADOS

3.1. Mostrar el uso del modelo gaussiano que contribuye en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica.

La investigación propuesta fue aplicada, sustentada en investigación de campo y bibliográfica, de carácter descriptivo con enfoque cuantitativo.

La recopilación bibliográfica se realizó con el fin de acceder a información que nos oriente en los procedimientos a seguir sobre la dispersión de PM10, como se detalla en la metodología para lograr el objetivo:

- ✓ *Se inspecciono las áreas:* reconocimiento e identificación de puntos de monitoreo que permitieron evaluar la calidad del aire.
- ✓ Se instalo el equipo y ejecuto el monitoreo y las muestras fueron obtenidas por A&B Consulting Group Peru E.I.R.L, las cuales fueron analizadas y se evaluó de acuerdo a la normatividad vigentes por ENVIROTEST, laboratorio acreditado por el organismo de acreditación INACAL-DA – PERU con registro N° LE-086.

En el modelo Gaussiano simplificado a nivel del suelo se estableció los siguientes procedimientos:

- ✓ El parámetro PM10 en los puntos de monitoreo, (TQ-01 y TQ-02) descrito en la tabla 3.

Tabla 5 Ubicación en coordenadas UTM

Estación de Monitoreo	UTM coordenadas (WGS 84 Zona 18L)		Descripción
	Sur	Oeste	
TQ-01	-14.066667°	-75.733333°	Punto ubicado en la última cuadra de la Calle B
TQ-02	-14.066556°	-75.733222°	Punto ubicado al inicio de la primera cidra de la calle B

Source: Air quality environmental monitoring report. A&B Consulting Group Peru E.I.R.L., 2022

El modelo de dispersión gaussiano se basa en una ecuación de balance de materiales para los contaminantes presentes en el aire de la zona de estudio. Permite establecer las condiciones de frontera y aplicar la ecuación de balance. Para el análisis actual, en el cual se busca comprender la acumulación de contaminantes en un área específica, se plantea que las acumulaciones son igual a la suma de las salidas y las destrucciones, menos las entradas y las creaciones.

Bajo estas suposiciones, se realiza un balance de materiales, comenzando con un balance alrededor de un cubo de espacio cercano a la columna de humo, como se muestra en la figura (8), y considerando que no hay creación ni destrucción de material en la atmósfera.

Figura 8 Balance de materiales para los contaminantes presentes en el aire de la zona de estudio

El modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos es una herramienta matemática que permitió estimar la concentración de un contaminante en la atmósfera considerando diversas variables que afectan el proceso. Las variables más significativas que influyen en los modelos de dispersión son:

- Variables meteorológicas (como la velocidad y dirección de los vientos, estabilidad atmosférica)
- Variables topográficas o de orografía del terreno
- Variables relativas a la emisión del contaminante
    - ✓ Cantidad emitida

- ✓ Posición y altura del foco emisor
- ✓ Tipo de contaminante (Gases o Partículas)
- ✓ Temperatura de emisión.
- ✓ Velocidad de emisión

Su cálculo se basa únicamente en resolver una única fórmula para cada punto receptor, y el coste computacional del modelo consiste principalmente en el preprocesamiento de datos meteorológicos y la parametrización de turbulencias.

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\upsilon}.exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right).\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z}}exp\left(\frac{(z-L)^2}{2\sigma_z^2}\right) \qquad \text{(I)}$$

Con la ecuación (I) desarrollada, para determinar la posición y el valor de concentración máxima que se podrá esperar en la línea central a nivel del suelo para una fuente puntual elevada.

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\upsilon}.exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_y^2}\right) \qquad \text{(II)}$$

En base a este modelo, donde se laboró una Tabla (6) en la que resume los cálculos de una manera conveniente y donde la columna encabezada con: ***exp*** representa el termino exponencial de la ecuación (II). Nótese que el valor **pre-exponencial** disminuye rápidamente con el aumento en la distancia, debido a los valores crecientes de σ_y y σ_z. No obstante, el valor exponencial aumenta rápidamente de un valor extremadamente pequeño hacia un valor igual a la unidad según **X** se hace más grande. Como estos dos términos se multiplican para obtener ***C***. Los datos indican que la concentración a nivel del suelo a lo largo de la línea central crece rápidamente a una distancia determinada, y luego al seguir aumentado **X** cae la concentración, después de pasar por el punto máximo. Esto es bastante típico para las soluciones tipo gaussiano de dispersión atmosférica.

Tabla 6 Resume el procedimiento a elaborar con la Tabla, 2, Tabla 3 y Fig. 2 y Fig. 3

X(metros)	σ_y	σ_z	$Q/(\pi*\sigma_y*\sigma_z*v)$	$m=(-1/2)*(H/\sigma_z)^2$	exp	$C(ug/m^3)$

En ambos puntos denominados (TQ-01 y TQ-02) se registró "una concentración de material particulado PM10 inferior a la contemplada en la norma de calidad ambiental vigente, en comparación con los límites máximos permisibles del Decreto Supremo N°003-2017-MINAM"[38], "en el que se establecen las Normas Nacionales de Calidad Ambiental del Aire"[16], cuyo valor 100 μg/m^3. Resultados del monitoreo de la calidad del aire, Tabla 5.

Tabla 7 Resultado del muestreo de la calidad del aire

Parámetros	Unidad	Periodo	Resultados		Estándares de la calidad del aire (ECA) desde 2017 hasta la actualidad (D.S. N°003-2017-MINAM)
			TQ-01 C.B	TQ-02 C.B	
Partículas de menos de 10 micras (PM10)	μg/m^3	24 horas	41,42	6.40	100

3.2. Evaluar la aplicación del modelo gaussiano como herramienta efectiva que relaciona entre la fuente y la distancia en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica.

Método de muestreo y análisis de partículas menores a 10 micrones (PM 10).
Método de Referencia, activo de la EPA. Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice J. PM10, bajo el principio de funcionamiento similar al del muestreador de partículas totales en suspensión y está diseñado para seleccionar y capturar únicamente la partícula menor a 10 micrones.

Los datos de velocidad del viento y estabilidad atmosférica, siempre que sea posible, deben obtenerse de estaciones meteorológicas locales. Dado que no siempre es posible disponer de esta información, a través de una tabla establecida por Pasquill (Tabla 2) puede obtenerse la categoría de estabilidad atmosférica estimada según las condiciones de insolación y velocidad del viento. Sobre la base de la fuente original Tabla 2, da una lista de valores de σ_y y σ_z correspondientes

a las seis clases de estabilidad, para algunas distancias en la dirección del viento, arbitrariamente seleccionadas.

Tabla 8 Resultados de los valores estimados de emisiones de fuentes fijas, con estabilidad D. Considerar las desviaciones de la Tabla 2

X(Km)	σ_y	σ_z	$Q/(\pi*\sigma_y*\sigma_z*v)$	$m=(-1/2)*(H/\sigma_z)^2$	exp(m)	C(ug/m³)
0.6	**41.6667**	**21.0000**	**48.5043**	**-0.11**	**0.8928**	**43.3052**
0.8	54.6667	26.6667	29.1136	-0.07	0.9321	27.1369
1.0	68.0000	32.0000	19.5042	-0.05	0.9523	18.5748
1.5	99.0000	41.0000	10.4561	-0.03	0.9707	10.1496
1.7	111.4000	45.9500	8.2912	-0.02	0.9766	8.0972
2.0	**130.0000**	**50.0000**	**6.5294**	**-0.02**	**0.9802**	**6.4001**
2.5	158.7500	56.7500	4.7109	-0.02	0.9846	4.6384
3.0	187.5000	63.5000	3.5646	-0.01	0.9877	3.5207
3.5	216.2500	70.2500	2.7937	-0.01	0.9899	2.7656
4.0	245.0000	77.0000	2.2497	-0.01	0.9916	2.2308
4.5	270.8333	82.3333	1.9033	-0.01	0.9927	1.8893
5.0	296.6667	90.5000	1.5808	-0.01	0.9939	1.5712

CA-021

CA-02

Figura 9 Muestra los resultados obtenidos en la Tabla 5, de los valores estimados de las emisiones de las fuentes fijas del sector industrial de la ciudad de Ica

El cálculo de las desviaciones se efectuó siguiendo las ecuaciones matemáticas correspondientes y utilizando los valores de las constantes necesarias, tal como se detallan en la Tabla 3, según lo propuesto por *Martín*. Es importante destacar que estas constantes están vinculadas tanto a la posición X en la dirección del viento como a las condiciones de estabilidad atmosférica vigentes[39].

Los cálculos de las desviaciones se llevaron a cabo empleando las ecuaciones matemáticas (4) y (5), y los valores de los parámetros a, c, d y f se extrajeron de la Tabla 3, específicamente para la condición de estabilidad atmosférica D. Es relevante mencionar que el valor de b se mantuvo constante en 0.894.

Es importante destacar que estos parámetros varían en función de la posición X en la dirección del viento, así como de las condiciones de estabilidad atmosférica vigentes. Los resultados de estos cálculos se presentan de manera detallada en la Tabla 6[39].

$$\sigma_y = aX^b \tag{4}$$

$$\sigma_z = cX^d + f \tag{5}$$

Tabla 9 Valores aproximados de σ_y y σ_z

Estabilidad	X < 1 Km				X > 1 Km		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

$\sigma_y = ax^b$

$\sigma_z = cx^d + f$

El valor de ***b*** es siempre **0.894** y ***x*** se ha de expresar en kilómetros.

Fuente: D.O. Martin J. Air Pollu. Control Assoc. 26, N 2-145

Tabla 10 Resultados de los valores estimados de emisiones de fuentes fijas, con estabilidad D. Considerar las desviaciones de la Tabla 3

X(km)	σ_y	σ_z	$Q/(\pi*\sigma_y*\sigma_z*v)$	$m=(-1/2)*(H/\sigma_z)^2$	exp(m)	C(ug/m^3)	
0.6	**43.1044**	**21.2244**	**46.3907**	**-0.11**	**0.8949**	**41.5171**	CA-01
0.8	54.7925	26.5409	29.1844	-0.07	0.9315	27.1847	
1.0	66.0000	31.5000	20.4142	-0.05	0.9509	19.4111	
1.5	92.5559	41.8559	10.9554	-0.03	0.9719	10.6471	
1.7	102.7397	45.5156	9.0759	-0.02	0.9762	8.8595	
2.0	**117.6530**	**50.6343**	**7.1243**	**-0.02**	**0.9807**	**6.9867**	CA-02
2.5	141.7183	58.3998	5.1280	-0.01	0.9854	5.0534	
3.0	164.9921	65.4431	3.9306	-0.01	0.9884	3.8850	
3.5	187.6276	71.9374	3.1444	-0.01	0.9904	3.1142	
4.0	209.7307	77.9961	2.5945	-0.01	0.9918	2.5733	
4.5	231.3786	83.6980	2.1915	-0.01	0.9929	2.1760	
5.0	252.6300	89.1007	1.8855	-0.01	0.9937	1.8736	
7.0	334.4689	108.4593	1.1699	0.00	0.9958	1.1650	
10.0	450.3435	133.0024	0.7086	0.00	0.9972	0.7066	

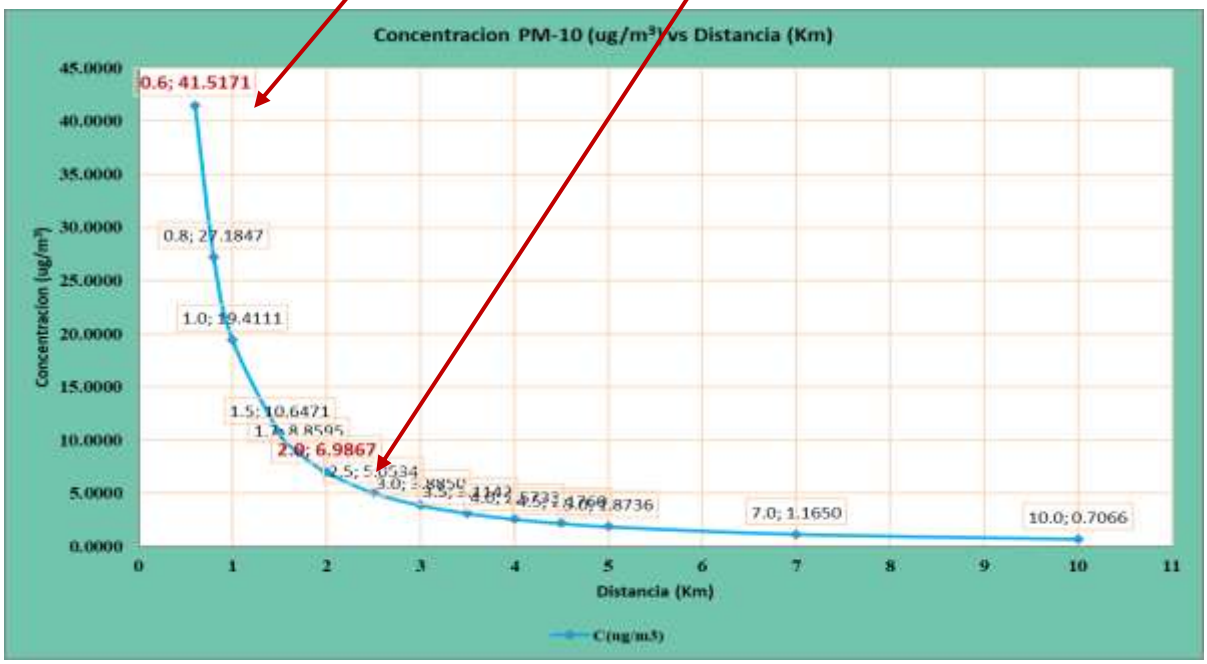


Figura 10 Muestra los resultados obtenidos en la Tabla 7, de los valores estimados de las emisiones de las fuentes fijas del sector industrial de la ciudad de Ica

En las figuras 11 y 12 se presentan gráficos ampliamente empleados para la determinación de las desviaciones σ_y y σ_z, calculadas mediante las fórmulas desarrolladas por Turner. Estos gráficos ilustran que, para una distancia específica aguas abajo de la fuente emisora, la amplitud de la pluma de contaminantes alcanza su valor máximo cuando la estabilidad atmosférica es máxima, y disminuye al mínimo cuando las condiciones atmosféricas son altamente estables[40].

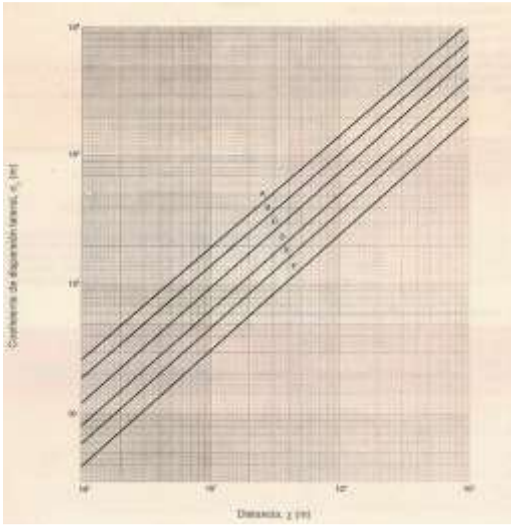


Figura 11 Coeficiente de dispersión lateral σ_y según distancia y categoría de estabilidad atmosférica*[40]*

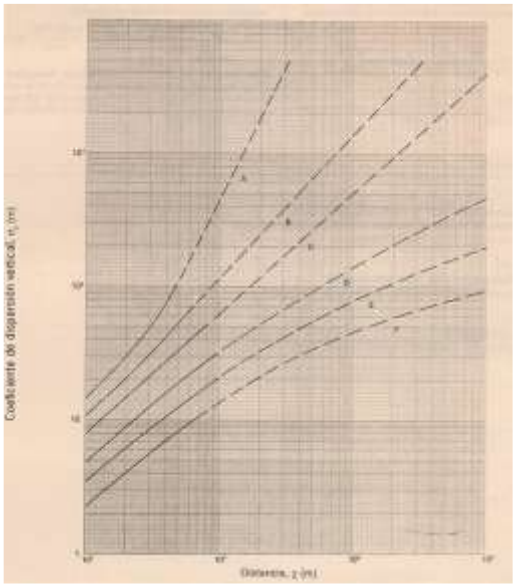


Figura 12 Coeficiente de dispersión vertical σ_z según distancia y categoría de estabilidad atmosférica*[40]*

Es importante destacar que los valores derivados de estos gráficos o de las fórmulas que los sustentan son válidos únicamente en situaciones de campo abierto. Debe considerarse que en condiciones de inestabilidad atmosférica (categoría A) y estabilidad (categoría F), existe la posibilidad de cometer errores significativos en la estimación de la desviación σ_z [40].

Tabla 11 Resultados, con estabilidad D con desviaciones del pequeño tamaño de los gráficos en las Figs. 10 y 11, presentado por Turner

x (Km)	σ_y	σ_z	Q/(□$\sigma_y\sigma_z$v)	m = (-1/2)*(H/σ_z)^2	exp (m)	C (ug/m^3)	
0.6	**40**	**20**	**45.9321**	**-0.10**	**0.9019**	**41.4239**	CA-01
0.8	60	26	29.1501	-0.07	0.9287	27.0718	
1.0	76	30	19.5049	-0.05	0.9523	18.5753	
1.5	100	40	11.0528	-0.03	0.9692	10.7127	
1.7	110	46	8.3879	-0.02	0.9766	8.1920	
2.0	**130**	**50**	**6.5296**	**-0.02**	**0.9802**	**6.4003**	CA-02
2.5	150	60	4.7158	-0.01	0.9862	4.6508	
3.0	170	64	3.9010	-0.01	0.9879	3.8536	
3.5	200	70	2.9474	-0.01	0.9904	2.9191	
4.0	220	80	2.3067	-0.01	0.9922	2.2887	
4.5	250	84	2.0211	-0.01	0.9929	2.0068	
5.0	280	90	1.6842	-0.01	0.9938	1.6739	

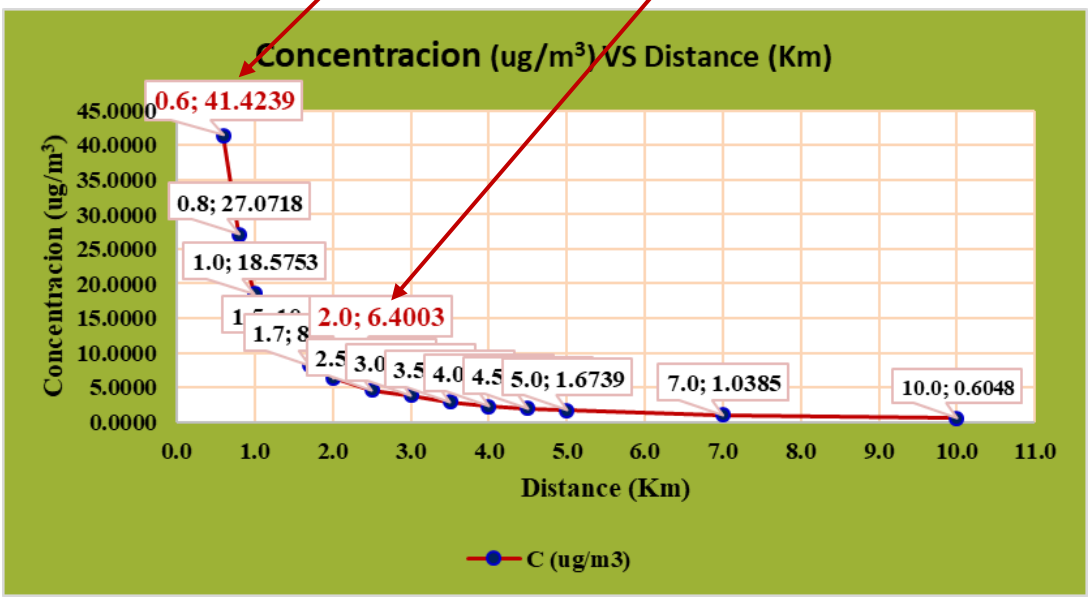


Figura 13 Muestra los resultados obtenidos en la Tabla 8

Para investigar el comportamiento de las partículas PM10 en la dirección del viento, se llevó a cabo un monitoreo de campo utilizando el equipo de captura de partículas HIGH VOL. Los datos recopilados se procesaron en el laboratorio de análisis ambiental de Envirotest S.A.C, el cual está acreditado por INACAL. Se realizaron mediciones y análisis de las muestras de calidad del aire ambiente siguiendo el método de prueba EPA/625/R-96/010a/Método Compendio IO-2.1 de junio de 1999/Método Compendio IO-3.1 de junio de 1999, con excepción del muestreo (Validado Modificado, 2015).

Siguiendo las directrices propuestas por la comunidad científica, como se muestra en las Figuras 2 y 3, y se detallan en las Tablas 2 y 3[18], que proporcionan valores aproximados de σ_y y σ_z ,en función de la distancia a favor del viento para distintas condiciones de estabilidad.

Las Tablas 6, 7 y 8 junto con las Figuras 9, 10 y 13 presentan los resultados de las estimaciones de emisiones procedentes de fuentes fijas, considerando la categoría de estabilidad D, en el sector industrial de la ciudad de Ica. Asimismo, en las Figuras mencionadas se muestra una comparación de las imágenes obtenidas en el Microsoft Excel que representan el comportamiento de la concentración de material particulado PM10 en relación con la calidad del aire y la distancia X en kilómetros o metros. En esta figura, se observa claramente una forma de campana de Gauss en cada una de las tres figuras propuestas. Como es el caso en el punto CA-01, se identifica la corona más elevada a una distancia de 600 metros, con una concentración de C(0.6,0,0) igual a 41.42 µg/m³, mientras que en el punto CA-02, ubicado a una distancia de 2000 metros, la concentración C(2.0,0,0) es de 6.40 µg/m³. Hay una tendencia a diluirse la contaminación a la medida que se aleja del punto CA-01.

3.3. Registrar los parámetros meteorológicos que influyen significativamente en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica.

los datos de medición meteorológica se tomaron a intervalos de 60 minutos durante un período de 24 horas. En las Tablas 9 y 11, se presentan los resultados

de las mediciones de los parámetros meteorológicos para cada hora durante ese período completo. En contraste, las Tablas 10 y 12 proporcionan los valores promedio de las mediciones meteorológicas durante las 24 horas, lo que permite obtener una visión general del comportamiento promedio de esos parámetros a lo largo del día. Estos datos son valiosos para comprender las condiciones meteorológicas en un período determinado y pueden ser útiles en diversas aplicaciones, como análisis de riesgos, diseño de estructuras, planificación ambiental, entre otros.

Tabla 12 Resultados de la medición meteorológica en el punto TQ-01

Fecha	Hora	Temperatura Ambiente	Presión Barométrica	Humedad Relativa	Velocidad del viento	Dirección Predominante del viento
		(°C)	(mmHg)	(%)	(m/s)	
25/05/2022	13:00:00	23,5	731,1	45	3.9	WNW
25/05/2022	14:00:00	23,5	730,6	46	3.9	WNW
25/05/2022	15:00:00	24,6	730,3	44	3.9	WSW
25/05/2022	16:00:00	24,9	730,3	46	4.1	WNW
25/05/2022	17:00:00	23,4	730,3	48	4.4	WNW
25/05/2022	18:00:00	22,8	730,7	57	4.3	WNW
25/05/2022	19:00:00	22,6	731	63	4.5	S
25/05/2022	20:00:00	25,6	731,3	64	4.5	S
25/05/2022	21:00:00	25,7	731,5	66	4.1	SSW
25/05/2022	22:00:00	23,5	731,5	64	5.4	S
25/05/2022	23:00:00	23,3	731,3	64	3.5	S
25/05/2022	00:00:00	23,7	730,9	70	3.6	SSW
26/05/2022	01:00:00	22,3	730,5	59	4.3	SSW
26/05/2022	02:00:00	22,7	730	73	3.8	SSW
26/05/2022	03:00:00	22,1	729,9	75	4.1	SSW
26/05/2022	04:00:00	22,2	729,9	74	4.1	WSW
26/05/2022	05:00:00	22,3	730,3	69	4.6	WSW

26/05/2022	06:00:00	22,7	730,8	67	3.9	S
26/05/2022	07:00:00	27,1	731,1	58	3.9	S
26/05/2022	08:00:00	27,9	731,2	47	3.9	WNW
26/05/2022	09:00:00	28,4	731,1	46	3.9	WNW
26/05/2022	10:00:00	28,7	730,6	43	4.2	WNW
26/05/2022	11:00:00	27,8	730,3	45	3.9	WNW
26/05/2022	12:00:00	27,3	730,3	48	3.9	WNW

Elaboración: A&B Consulting Group Perú E.I.R.L., 2022.Fecha de muestreo: 24 y 25 de mayo 2022

Tabla 13 Resultados de la medición meteorológica en el punto TQ-01

Temperatura Ambiente (ºC)	Presión Barométrica (mmHg)	Humedad Relativa (%)	Dirección del Viento m/s	Dirección Predominante del viento
22,6	**730,5**	**57,8**	**4,4**	**WNW**

Elaboración: A&B Consulting Group Perú E.I.R.L., 2022.Fecha de muestreo: 24 y 25 de mayo 2022

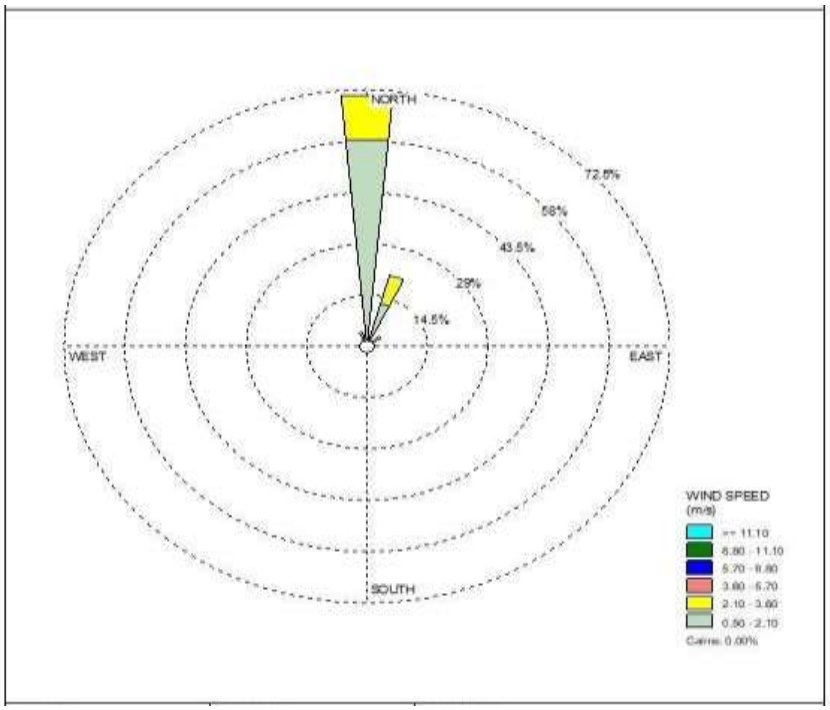


Figura 14 Rosa de viento TQ-01

Tabla 14 Resultados de la medición meteorológica en el punto TQ-02

Fecha	Hora	Temperatura Ambiente	Presión Barométrica	Humedad Relativa	Velocidaddel viento	Dirección Predominante del viento
		(°C)	(mmHg)	(%)	(m/s)	
24/05/2022	11:00:00	22,3	731,1	47	4.3	SW
24/05/2022	12:00:00	22,5	730,6	46	4.1	SW
24/05/2022	13:00:00	22,4	730,3	52	3.9	SW
24/05/2022	14:00:00	23,7	730,3	60	4.1	SW
24/05/2022	15:00:00	23,4	730,3	52	4.6	SW
24/05/2022	16:00:00	22,8	730,7	60	4.1	SW
24/05/2022	17:00:00	22,6	731	63	3.9	SW
24/05/2022	18:00:00	22,3	731,3	64	3.4	WSW
24/05/2022	19:00:00	22,1	731,5	64	3.4	WNW
24/05/2022	20:00:00	22,2	731,5	64	4.3	SW
24/05/2022	21:00:00	22,1	731,3	64	4.3	WSW
24/05/2022	22:00:00	22,2	730,9	70	5.1	SSW
24/05/2022	23:00:00	22,3	730,5	70	4.3	WNW
24/05/2022	00:00:00	22,7	730	73	4.1	SW
25/05/2022	01:00:00	22,1	729,9	75	4.2	WSW
25/05/2022	02:00:00	22,2	729,9	74	5.1	WSW
25/05/2022	03:00:00	22,3	730,3	46	4.1	WSW
25/05/2022	04:00:00	22,7	730,8	52	4.1	W
25/05/2022	05:00:00	26,7	731,1	60	4.1	W
25/05/2022	06:00:00	26,9	731,2	52	4.2	WSW
25/05/2022	07:00:00	29,1	731,1	60	4.1	SW
25/05/2022	08:00:00	28,7	730,6	63	5.2	SW
25/05/2022	09:00:00	27,8	730,3	47	4.1	SW

25/05/2022	10:00:00	27,3	730,3	46	5.2	SW

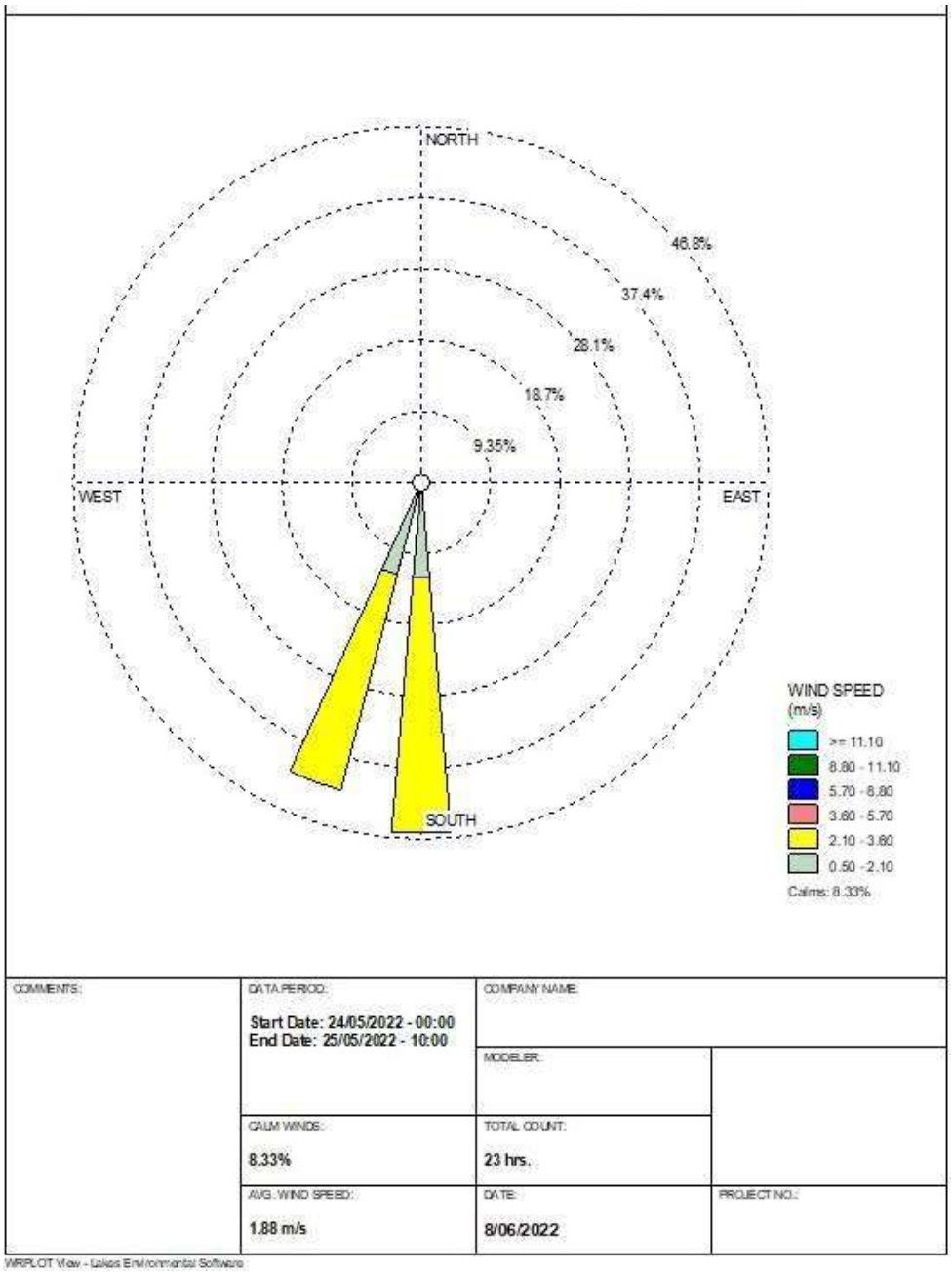
Elaboración: A&B Consulting Group Perú E.I.R.L., 2022.Fecha de muestreo: 24 y 25 de mayo 2022

Tabla 15 Resultados promedio de la Medición Meteorológica CA-02

Temperatura Ambiente (°C)	Presión	Humedad	Velocidad del viento	Dirección
	Barométrica (mmHg)	Relativa (%)	(m/s)	Predominante del viento
25,2	730	59,3	4.5	SW

Elaboración: A&B Consulting Group Perú E.I.R.L.,2022.Fecha de muestreo: 24 y 25 de mayo 2022

Ilustración 4: Rosa de Viento CA - 02



En esta investigación, se exploró la influencia de varios parámetros meteorológicos en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica en el año 2023. Se examinaron detalladamente factores como la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica, la temperatura, la humedad relativa y la topografía local. Estos parámetros meteorológicos desempeñan un papel significativo en la dispersión de contaminantes, ya que afectan la forma en que los contaminantes se mezclan y se dispersan en la atmósfera. El estudio analizó cómo estas variables meteorológicas interactúan entre sí y cómo influyen en la concentración y distribución de los contaminantes en la zona de estudio, lo que proporciona información valiosa para comprender y gestionar la calidad del aire en la región industrial de Ica. Para el punto CA-02 con los siguientes resultados: Temperatura del ambiente de 25 °C, presión barométrica de 730 mmHg, humedad relativa de 59,3%, velocidad del viento 4.5 m/s, dirección predominante del viento de SW.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Mostrar el uso del modelo gaussiano que contribuye en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica.

En la discusión de los resultados relacionados con el uso del modelo gaussiano en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica, es importante resaltar los hallazgos clave obtenidos a partir de la Tabla (4) que resume los cálculos de manera conveniente. Se observa que, en esta tabla, el término exponencial de la ecuación (II) se representa como "**exp**" y muestra un patrón interesante en función de la distancia. Es evidente que el valor **pre-exponencial** disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia, lo que se debe a los valores crecientes de las constantes σ_y y σ_z. Sin embargo, el valor exponencial aumenta drásticamente desde un valor extremadamente pequeño hacia uno cercano a la unidad a medida que **X** se hace más grande. Esta relación entre los términos **pre-exponencial** y **exponencial** tiene un impacto significativo en la concentración de contaminantes a nivel del suelo a lo largo de la línea central[14], [41].

Este comportamiento observado en la tabla indica que la concentración de contaminantes aumenta rápidamente hasta alcanzar un punto máximo a una distancia determinada, después de lo cual comienza a disminuir a medida que **X** continúa aumentando. Este patrón es característico de las soluciones tipo gaussiano de dispersión atmosférica y es fundamental para comprender cómo los contaminantes se distribuyen en la zona estudiada. Estos resultados respaldan la eficacia del modelo gaussiano para representar la dispersión de contaminantes en el sector industrial de Ica y proporcionan información valiosa para la evaluación y gestión de la calidad del aire en la región.

Por otro lado, es relevante mencionar que se obtuvieron concentraciones de partículas de menos de 10 micras (PM10) en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) en un período de 24 horas. Los valores registrados fueron de 41.42 $\mu g/m^3$

y 6.40 μg/m^3, lo que indica una variación significativa en la concentración de PM10 en la zona de estudio[42]. Es importante destacar que estos valores se compararon con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) establecido en el D.S. N°003-2017-MINAM, que es de 100 μg/m^3 para PM10 en un período de 24 horas. Los resultados muestran que las concentraciones registradas están por debajo de este estándar, lo que sugiere que, en general, la calidad del aire en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica cumple con las normativas ambientales [43].

Por lo tanto, los resultados obtenidos a partir del modelo gaussiano y las mediciones de concentración de PM10 respaldan la utilidad de esta herramienta para comprender la dispersión de contaminantes en la región estudiada. Además, indican que, en términos generales, los niveles de PM10 se mantienen dentro de los límites permitidos por la normativa ambiental vigente. Sin embargo, es esencial continuar monitoreando y evaluando la calidad del aire para garantizar la protección de la salud pública y el medio ambiente en la zona industrial de Ica.

4.2. Evaluar la aplicación del modelo gaussiano como herramienta efectiva que relaciona entre la fuente y la distancia en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica.

En la discusión de los resultados relacionados con la evaluación de la aplicación del modelo gaussiano como herramienta efectiva que relaciona la fuente y la distancia en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial de Ica, es esencial destacar varios aspectos clave. En primer lugar, se llevó a cabo un monitoreo de campo utilizando el equipo de captura de partículas HIGH VOL para investigar el comportamiento de las partículas PM10 en la dirección del viento. Los datos recopilados se procesaron en el laboratorio de análisis ambiental de Envirotest S.A.C, que cuenta con la acreditación de INACAL. Se realizaron mediciones y análisis de las muestras de calidad del aire ambiente siguiendo rigurosamente el método de prueba EPA/625/R-96/010a/Método Compendio IO-2.1 de junio de 1999/Método Compendio IO-3.1 de junio de 1999, con la excepción del muestreo, que se basó en el método Validado Modificado de 2015.

En este contexto, se aplicaron las directrices propuestas por la comunidad científica, tal como se muestra en las Figuras 2 y 3 y se detalla en las Tablas 2 y 3, las cuales proporcionan valores aproximados de σy y σz en función de la distancia a favor del viento para diversas condiciones de estabilidad atmosférica. Estos datos son esenciales para comprender cómo se distribuyen los contaminantes en la atmósfera y cómo afecta la distancia a la concentración.

Además, las Tablas 6, 7 y 8 junto con las Figuras 8, 9 y 12 presentan los resultados de las estimaciones de emisiones provenientes de fuentes fijas, considerando la categoría de estabilidad D, en el sector industrial de la ciudad de Ica. Estas figuras ofrecen una comparación visual de la concentración de material particulado PM10 en relación con la calidad del aire y la distancia X en kilómetros o metros. Se observa claramente una forma de campana de Gauss en cada una de las tres figuras propuestas, lo que indica cómo la concentración de contaminantes se distribuye en la zona de estudio.

En consecuencia, en el punto CA-01, se identifica la corona más elevada a una distancia de 600 metros, con una concentración de C(0.6,0,0) igual a 41.42 µg/m³. En contraste, en el punto CA-02, ubicado a una distancia de 2000 metros, la concentración C(2.0,0,0) es de 6.40 µg/m³. Estos resultados resaltan la tendencia a la dilución de la contaminación a medida que se aleja del punto de origen (CA-01)[44].

Por lo tanto, la aplicación del modelo gaussiano ha demostrado ser efectiva para comprender la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica. Los datos recopilados y las estimaciones de emisiones proporcionan información valiosa para la evaluación y gestión de la calidad del aire en la región, respaldando la utilidad de esta herramienta en la toma de decisiones ambientales.

4.3. Registrar los parámetros meteorológicos que influyen significativamente en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica.

Uno de los parámetros clave que ha demostrado tener un impacto importante en la dispersión de contaminantes es la velocidad y dirección del viento. Como se observó en los datos recopilados durante el monitoreo de campo, la dirección del viento puede variar significativamente a lo largo del día, lo que influye en la dirección en la que se desplazan los contaminantes. En condiciones de estabilidad atmosférica, donde el aire tiende a ascender, la dirección del viento puede ser especialmente crucial para determinar hacia dónde se desplazan los contaminantes. En días de viento predominante, es probable que los contaminantes se acumulen en áreas específicas, lo que puede aumentar la concentración de contaminantes en esas zonas [45].

La temperatura del aire también puede influir en la dispersión de contaminantes. Para los investigadores, los días más cálidos tienden a generar corrientes ascendentes de aire, lo que puede contribuir a la dispersión vertical de contaminantes. Además, las temperaturas más altas pueden afectar la estabilidad atmosférica, lo que a su vez influye en la dispersión horizontal[39].

V. CONCLUSIONES

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para la gestión ambiental y la salud pública en la región de Ica. Se enfatiza la necesidad de monitorear continuamente la calidad del aire, actualizar los datos meteorológicos y promover prácticas industriales más limpias. También se destaca la importancia de la educación ambiental y la participación comunitaria en la protección del medio ambiente. Además, la investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación de políticas que contribuyan a reducir la contaminación atmosférica y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona industrial de Ica.

La aplicación del modelo gaussiano ha demostrado ser una herramienta efectiva y confiable para evaluar la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica. Los resultados obtenidos son fundamentales para la gestión de la calidad del aire y la toma de decisiones relacionadas con la protección del medio ambiente y la salud pública en esta región industrialmente activa. Se ha destacado la necesidad de modelos de dispersión más avanzados y específicos para la región de Ica. Si bien el modelo gaussiano proporciona información valiosa, se reconoce que las condiciones locales requieren una modelación más detallada que considere la topografía y las condiciones meteorológicas específicas de la zona.

Los parámetros meteorológicos, como la dirección y velocidad del viento, la estabilidad atmosférica, la temperatura y la topografía, juegan un papel fundamental en la dispersión de contaminantes en la zona de vulnerabilidad del sector industrial de Ica. El entendimiento de cómo estos parámetros interactúan es esencial para la gestión y regulación efectiva de la calidad del aire en la región, con el objetivo de minimizar los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. El conocimiento de estos factores es esencial para el diseño de estrategias de gestión de la calidad del aire y la toma de decisiones relacionadas con la ubicación de fuentes emisoras, la planificación urbana y la protección de la salud pública. Además, destaca la importancia de la vigilancia continua de estos parámetros y la necesidad de adaptar las políticas ambientales a las condiciones específicas de la región costera de Ica.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda promover la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles en las industrias existentes y en aquellas que puedan establecerse en la región en el futuro. Esto incluye la implementación de sistemas de control de emisiones y la promoción de prácticas industriales responsables desde el punto de vista ambiental. La educación y la sensibilización pública son esenciales, por lo que se sugiere llevar a cabo programas de concientización ambiental dirigidos a la comunidad local, para que los residentes puedan tomar medidas para reducir su exposición a la contaminación y contribuir a la preservación del entorno.

La recomendación se centra en mejorar la gestión de la calidad del aire en el sector industrial de Ica, reducir las emisiones contaminantes y promover la participación comunitaria en la protección del medio ambiente. Estas acciones son esenciales para garantizar un aire más limpio y seguro para todos los habitantes de la región.

Se ha demostrado que los factores meteorológicos, como la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica y la temperatura, desempeñan un papel crucial en la dispersión de contaminantes. La relación entre estos parámetros y la concentración de contaminantes en el aire es evidente, y su comprensión es esencial para predecir y gestionar los niveles de contaminación en la zona industrial. En términos de recomendaciones, se insta a mantener un monitoreo continuo de los parámetros meteorológicos y a utilizar modelos de dispersión más avanzados para mejorar la precisión de las predicciones de calidad del aire. La planificación urbana y la educación pública son componentes clave para abordar este problema de manera integral, y se enfatiza la importancia de la cooperación entre diversas partes interesadas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R. Wang *et al.*, «Real-time data driven simulation of air contaminant dispersion using particle filter and UAV sensory system», *Proc. - 2017 IEEE/ACM 21st Int. Symp. Distrib. Simul. Real Time Appl. DS-RT 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1-4, 2017, doi: 10.1109/DISTRA.2017.8167688.

[2] H. A. Ahmad *et al.*, «The environmental distribution and removal of emerging pollutants, highlighting the importance of using microbes as a potential degrader: A review», *Sci. Total Environ.*, vol. 809, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151926.

[3] S. Zhang, D. Niu, Y. Lu, y Z. Lin, «Contaminant removal and contaminant dispersion of air distribution for overall and local airborne infection risk controls», *Sci. Total Environ.*, vol. 833, n.º March, p. 11, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155173.

[4] S. Copelli, M. Barozzi, A. Fumagalli, y M. Derudi, «Application of a Gaussian model to simulate contaminants dispersion in industrial accidents», *Chem. Eng. Trans.*, vol. 77, n.º April, pp. 799-804, 2019, doi: 10.3303/CET1977134.

[5] R. B. Gonzalez-Gonzalez, E. A. Flores-Contreras, R. Parra-Saldivar, y H. Iqbal, «Bio-removal of emerging pollutants by advanced bioremediation techniques», *Environ. Reserch*, vol. 214, n.º April, p. 12, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.113936.

[6] C. Alves *et al.*, «PM2.5 chemical composition and health risks by inhalation near a chemical complex», *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 124, pp. 860-874, 2023, doi: 10.1016/j.jes.2022.02.013.

[7] B. Lamb, A. Lorenzen, y F. Shair, «Atmospheric dispersion and transport within coastal regions-I. Tracer study of power plant emissions from the oxnard plain», *Atmos. Environ.*, vol. 13, n.º 4, p. 567, 1979, doi: 10.1016/0004-6981(79)90157-4.

[8] G. Tuna Tuygun, S. Gündoğdu, y T. Elbir, «Estimation of ground-level particulate matter concentrations based on synergistic use of MODIS, MERRA-2 and AERONET AODs over a coastal site in the Eastern Mediterranean», *Atmos. Environ.*, vol. 261, n.º June, p. 15 Pag., 2021, doi: 10.1016/j.atmosenv.2021.118562.

[9] K. H. Kim, E. Kabir, y S. Kabir, «A review on the human health impact of airborne particulate matter», *Environ. Int.*, vol. 74, pp. 136-143, 2015, doi: 10.1016/j.envint.2014.10.005.

[10] D. Moscoso Vanegas, A. Astudillo Alemán, y M. C. Morales Pérez, «Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón cuenca-ecuador», *Cent. Azúcar*, vol. 45, n.º 2, pp. 33-45, 2018, [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

[11] A. A. Tyovenda, T. J. Ayua, y T. Sombo, «Modeling of gaseous pollutants (CO and NO2) emission from an industrial stack in Kano city, northwestern Nigeria», *Atmos. Environ.*, vol. 253, n.º 2, p. 118356, 2021, doi: 10.1016/j.atmosenv.2021.118356.

[12] A. A. Bustillos Ortis, «Simulacion de la dispersion de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcan Tungurahua, mediante la utilizacion de los sofwares ambientales especializados disper version 5.2 y screen view», Universidad Tecnica de Ambato, 2011.

[13] J. E. Mauricio Melendez y L. J. Murga Valdez, «Empleo de un modelo gaussiano para estimar las concentraciones máximas a nivel del suelo de CO, NOx, PM10 y SO2 emitidas por las chimeneas de los calderos 17 y 20 de la empresa Cartavio S.A.A. – 2014», n.º X, p. 122, 2015, [En línea]. Disponible en: https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3267/MauricioMelendez_J - MurgaValdez_L.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[14] J. M. Perdiz Davila, «Modeling and Simulation of the Dispersion of Pollutants in the Plume of a Chimney by the Gaussian Dispersion Method», Universidad Nacional de Trujillo, 2016.

[15] A. Depaz, «"Modelamiento de dispersión de material particulado mediante la Aplicación del Modelo Gaussiano para determinar la zona vulnerable del sector industrial de Puente Piedra 2017"», Universidad Cesar Vallejo, 2017.

[16] J. Cabrera Fernández, «Aplicación de un modelo de dispersión atmosférica», Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso, 2012.

[17] J. Rivera, «Modelo de identificación de factores contaminantes atmosféricos críticos en Lima – Callao», Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2012.

[18] K. Wark y C. Warner, *Contaminacion del Aire: Origen y Control*. España: Limusa, 2012.

[19] S. Brusca, F. Famoso, R. Lanzafame, S. Mauro, A. M. C. Garrano, y P. Monforte, «Theoretical and Experimental Study of Gaussian Plume Model in Small Scale System»,

Energy Procedia, vol. 101, n.º September, pp. 58-65, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.008.

[20] W. Huang, E. Long, J. Wang, R. Huang, y L. Ma, «Characterizing spatial distribution and temporal variation of PM10 and PM2.5 mass concentrations in an urban area of Southwest China», *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 6, n.º 5, pp. 842-848, 2015, doi: 10.5094/APR.2015.093.

[21] E. Van De Beek *et al.*, «Spatial and Spatiotemporal Variability of Regional Background Ultrafine Particle Concentrations in the Netherlands», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 55, n.º 2, pp. 1067-1075, 2021, doi: 10.1021/acs.est.0c06806.

[22] K. Juda-Rezler, M. Reizer, y J. P. Oudinet, «Determination and analysis of PM10 source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006», *Atmos. Environ.*, vol. 45, n.º 36, pp. 6557-6566, 2011, doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.020.

[23] S. Brusca, F. Famoso, R. Lanzafame, A. Marino Cugno Garrano, y P. Monforte, «Experimental analysis of a plume dispersion around obstacles», *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 695-701, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.794.

[24] G. Balakrishnaiah *et al.*, «Characterization of PM, PM10 and PM2.5 mass concentrations at a tropical semiarid station in Anantapur, India», *Indian J. Radio Sp. Phys.*, vol. 40, n.º 2, pp. 95-104, 2011.

[25] Á. Leelőssy, F. Molnár, F. Izsák, Á. Havasi, I. Lagzi, y R. Mészáros, «Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review», *Cent. Eur. J. Geosci.*, vol. 6, n.º 3, pp. 257-278, 2014, doi: 10.2478/s13533-012-0188-6.

[26] B. Onat, C. Bayat, y U. Sahin, «PM10 dispersion modeling: Urban case study from Turkey», *Fresenius Environ. Bull.*, vol. 13, n.º 9, pp. 889-894, 2004.

[27] C. Gariazzo, V. Papaleo, A. Pelliccioni, G. Calori, P. Radice, y G. Tinarelli, «Application of a Lagrangian particle model to assess the impact of harbour, industrial and urban activities on air quality in the Taranto area, Italy», *Atmos. Environ.*, vol. 41, n.º 30, pp. 6432-6444, 2007, doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.06.005.

[28] J. O. Villegas Ramirez, «Analisi de la Vulnerabilidad y Riesgo de las Edificaciones en el Sector Morro Solar Bajo, Ciudad de Jaen-Cajamarca», Universidad Nacional de Cajamarca, 2014.

[29] O. S. Olokeogun y M. Kumar, «An indicator based approach for assessing the

vulnerability of riparian ecosystem under the influence of urbanization in the Indian Himalayan city, Dehradun», *Ecol. Indic.*, vol. 119, n.º May, p. 106796, 2020, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106796.

[30] INDECI, «Resolucion Jefatural No 250-2012-INDECI». Jefe del Instituto Nacional de Defensa Civil, Lima - Perú, p. 7 Pag., 2012, [En línea]. Disponible en: https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2012/12/201705251222571.pdf.

[31] Republica del Peru, «Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM», pp. 6-9, 2017.

[32] D. Aviles Flores y M. Rivera Banegas, «Dispersion de Contaminantes Atmosfericos por Fuenytes Fijas de Combustion del Parque Indutrial de la Ciudad de Cuenca, Mediante los Sofwares Screen View 3 y Disper 5.6», Universidad de Cuenca, 2018.

[33] J. Rovira, L. Vilavert, M. Nadal, M. Schuhmacher, y J. L. Domingo, «Temporal trends in the levels of metals, PCDD/Fs and PCBs in the vicinity of a municipal solid waste incinerator. Preliminary assessment of human health risks», *Waste Manag.*, vol. 43, pp. 168-175, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.05.039.

[34] X. Ma, W. Zhong, W. Feng, y G. Li, «Modelling of pollutant dispersion with atmospheric instabilities in an industrial park», *Powder Technol.*, vol. 314, pp. 577-588, 2017, doi: 10.1016/j.powtec.2016.08.062.

[35] H. Orru, B. Lövenheim, C. Johansson, y B. Forsberg, «Potential health impacts of changes in air pollution exposure associated with moving traffic into a road tunnel», *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 25, n.º 5, pp. 524-531, 2015, doi: 10.1038/jes.2015.24.

[36] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.

[37] H. Gutierrez Pulido y R. De La Vara Salazar, *Analisis y diseño de experimentos*. Mexico: Mc Graw Hill Interamericana, 2016.

[38] D.S._N°003-2017-MINAM, «Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo Nº 003-2017-MINAM», *Norma Legal*. Diario el ´Peruano, Lima - Perú, p. 4, 2017, [En línea]. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf.

[39] J. Buitrago Arango, «Aplicacion del Modelo Gaussiano Para FDeterminar la Calidad del Aire de Manizale», Universidad Nacional de Colombia, 2003.

[40] E. Turmo Sierra y J. Cusco Vidal, «NTP 329 : Modelos de dispersión de gases y / o vapores en la atmósfera : fuentes puntuales continuas», España, 2003. [En línea]. Disponible en: https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP 329 - Modelos de dispersion de gases yo vapores en la atmosfera fuentes puntuales continuas.pdf.

[41] J. D. Asencio Pacho y L. N. Vega Gavilan, «Análisis de dispersión de contaminantes utilizando el Modelo Gaussiano en chimeneas», Universidad Peruana Leon, 2020.

[42] J. J. Y. Guzman Vasquez, «Evaluacion de la Calidad de Aire de la Central Termica de Ventanilla», *Universiidad Nac. Federico Villareal*, pp. 1-97, 2019, [En línea]. Disponible en: file:///C:/Users/User/Downloads/ANTECEDENTES/GUZMAN VASQUEZ JHOSTHINS JONATHAN YURI - TITULO PROFESIONAL.pdf.

[43] I. C. Cordova, P. Cordova, y T. O. Barrios, «Caracterización de Emisiones Contaminantes y la Calidad del Aire en el Cercado de Ica en el Año 2019», Ica-Peru, 2019.

[44] R. C. Trelles, «Determinacion del Material Particulado (PM 10y PM 2.5), Dioxido de Azufre (SO2), Dioxido de Nitrogeno (NO2) y Monoxido de Carbono (CO) en el Distrito de Ocoruro-Provincia Espinar-Region Cusco», Escuela Profesional de Ingenieria Ambiental. Facultad de Ingenieria de Procesos. Universidad Nacional de San Agustin, 2018.

[45] E. F. Arellano Gamarra, «Nivel de Contaminacion Atmosferica por Material Particulado (PM0) y su composicion Metalica en el Area Urbana del distrito de Cusco», Universidad Nacional San Agustin de Arequipa, 2019.

[46] W. Hurtado y L. Martinez, «PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL DISTRITO DE CHUQUIBAMBILLA – GRAU - APURIMAC», Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2012.