

# Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos: Revisión sistemática

## Dispersion models of atmospheric pollutants: Systematic review

Recibido: abril 22 de 2022 | Revisado: mayo 20 de 2022 | Aceptado: mayo 27 de 2022

FABIO RANGEL<sup>1</sup>  
MARIO ANAYA<sup>1</sup>  
JOSÉ IANNAcone<sup>1,2</sup>  
LUIS ROMERO<sup>3</sup>

### RESUMEN

La presente revisión está sustentada en la declaración PRISMA, en ese escenario, consideramos estudios de los últimos 10 años, en los que se enfoca la utilidad de los modelos matemáticos para estudiar y predecir el comportamiento de la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Se utilizaron las siguientes bases de datos; ScienceDirect, Dialnet, Scielo, ScienceResearch, PubMed y Redalyc, obteniendo un total de 4544 registros, descartándose 61 de estos por duplicidad, considerando finalmente 4483 registros, se excluyeron 3429, posteriormente, de los 1054 artículos elegidos, se excluyeron 991 por no estar relacionados con modelos de dispersión. Finalmente, se incluyeron 63 artículos originales para su análisis y elaboración de la revisión. La selección del modelo depende del tiempo, escenario, fuente de emisión y estabilidad atmosférica. La importancia que tiene el control de la contaminación nos lleva a la utilización de modelos que nos permitan pronosticar la concentración en la dispersión de contaminantes atmosféricos. Estos modelos pueden ser teóricos o semiteóricos, y en la medida que en el modelo se incluyan los parámetros adecuados de tal manera que se logre aproximar a la realidad, los resultados, mostrados serán confiables, pero ello conlleva a un modelo muy complejo. Los modelos más utilizados encontrados aquí son los gaussianos y los modelos lagrangianos.

**Palabras clave:** Dispersión de la contaminación del aire, Modelos de dispersión, Modelos de dispersión de contaminantes, Modelo de dispersión gaussiana, Modelo de pluma gaussiana

### ABSTRACT

This systematic review is based on the PRISMA statement. Studies of the last 10 years were considered, in which the usefulness of mathematical models to study and predict the behavior of the dispersion of atmospheric pollutants is focused. The following databases were used; ScienceDirect, Dialnet, Scielo, ScienceResearch, PubMed and Redalyc, obtaining a total of 4,544 records, discarding 61 of these due to duplicity, finally considering 4,483 records, 3,429 were excluded, subsequently, of the 1,054 articles chosen, 991 were excluded because they were not related with dispersion models. Finally, 63 original articles were included for analysis and preparation of the systematic review. Model selection depends on weather, scenario, emission source, and atmospheric stability. The importance of pollution control leads us to the use of models that allow us to forecast the concentration in the dispersion of atmospheric pollutants. These can be theoretical or semi-theoretical, and to the extent that the parameters are included in the model adequate in such a way that it is possible to approach reality, the results, shown, will be very reliable, but this leads to a very complex model. The most used models are Gaussian and Lagrangian models.

- 1 Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG). Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima-Perú
- 2 Facultad de Ciencias Biológicas. Grupo de Investigación "One Health". Escuela de Posgrado (EPG). Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú
- 3 Universidad Nacional Autónoma de Tayacaca. Daniel Hernández Morillo, Huancavelica - Perú.

Autor para correspondencia  
alexar40@gmail.com

**Keywords:** Air Pollution Dispersion, Dispersion Models, Gaussian Dispersion Model, Gaussian Plume Model, Pollutant Dispersion Models

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n33.02>

## Introducción

En los últimos 100 años, se ha prestado cada vez más atención al tema de la protección del medio ambiente y la calidad del aire ha ocupado un lugar destacado. En este último caso, modelar el comportamiento de la contaminación del aire es una de las herramientas más importantes para analizar y prevenir su degradación (Hernández et al., 2015; Ordoñez et al., 2018; Pacheco et al., 2020). La contaminación del aire es motivo de preocupación por sus poderosos impactos económicos y sociales negativos, no solo porque amenaza la sostenibilidad del planeta, sino también por sus efectos sobre el medio ambiente con factores de salud y productividad (Méndez et al., 2017; Fedossova et al., 2019; Gariazzo et al., 2020).

De esta manera, se debe tener en consideración el tamaño de las partículas en los modelos de dispersión de la contaminación y dada su complejidad se debe permitir algunas simplificaciones para el estudio de las zonas de dispersión (Ramos y Benites, 2016; Fedossova et al., 2019). Por ejemplo, el material particulado (PM) se define como una mezcla compleja de partículas sólidas y/o líquidas con propiedades físicas y químicas suspendidas en la atmósfera. Se sabe que tales aerosoles atmosféricos, como también se les llama, son emitidos por fuentes naturales o antropogénicas (Arrieta, 2016). Los aerosoles secundarios constituyen más del 50% de PM<sub>2.5</sub> y son los principales responsables de alterar el balance de radiación de la Tierra, reduciendo la visibilidad y la contaminación por

smog en el área (Lizarraga et al., 2019; Pacheco et al., 2020).

Es importante mencionar que los aerosoles son pequeñas partículas sólidas o líquidas suspendidas en un gas, originadas por actividades naturales (biológicas) o actividades humanas (antropogénicas) y cuyo tamaño varía desde unos pocos nanómetros hasta varias decenas de micrómetros. Uno de los componentes que crea los aerosoles y los libera a la atmósfera es un contaminante llamado carbono negro (BC), que incluye elementos como el carbono elemental (EC) y el carbono orgánico (CO) provenientes de materiales de carbono, biomasa, combustibles fósiles y biocombustibles (Balde y Vega, 2019; Roldán et al., 2021).

Las emisiones de sólidos en suspensión provenientes de las carreteras sin pavimentar que surgen de la erosión y/o la meteorología o del tráfico rodado provocan vórtices verticales (al comprimir y expandir las masas de aire) que dan como resultado polvo que contiene materiales producidos por el desgaste de frenos y neumáticos, lo que contribuyen a procesos abrasivos y la resistencia superficial de las transiciones geológicas, el último para partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$  (Méndez et al., 2017; Amouzouvi et al., 2020). En ese contexto, el modelo de difusión gaussiana es el método estándar para estudiar el transporte de contaminantes atmosféricos por difusión turbulenta y la advección por el viento. Estos modelos describen con ecuaciones matemáticas los procesos físicos que rigen la dispersión de partículas, gases o productos químicos desde la pluma (Rojano et al.,

2016). Por otro lado, el uso de modelos gaussianos de difusión atmosférica para estudiar el impacto del polvo y los gases contaminantes en el medio ambiente ha sido objeto de investigación de muchos autores, estos modelos de dispersión son muy fácil de usar para determinar las concentraciones de contaminantes de una o más fuentes e incluye los efectos del viento y la turbulencia (Brusca et al., 2016; Ordoñez et al., 2018).

Existen modelos jerárquicos para casos de fuentes industriales complejas. AERMOD y CALPUFF son dos modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos ampliamente utilizados para este tipo de estimación. Existen herramientas informáticas más simples para terrenos no complicados para respaldar la toma de decisiones y el monitoreo de activos industriales. (Truong et al., 2016; Vidal y Pérez, 2018).

El modelo WKBK2, basado en la dispersión Gaussiana, es un modelo simple y su utilización es muy fácil permite estimar la concentración de los pululantes de una o varias fuentes y tiene en cuenta la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica (Páez et al., 2017). Una de las dificultades del modelo de dispersión gaussiana es la determinación de  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ , ya que son coeficientes para la dispersión turbulenta, que dependen del tipo de estabilidad y de la distancia medida desde el punto de emisión en la dirección del viento  $x$ .

Existen diferentes formas de estudiar la difusión de los contaminantes, pero todas ellas deben tener en cuenta la clasificación de la atmósfera: A:

inestable; B: Moderadamente inestable; C: Ligeramente inestable; D: Neutro; E: Ligeramente estable; F: Más estable. Se requieren condiciones atmosféricas inestables para dispersar los contaminantes porque el movimiento vertical del aire suele ser favorable en los días en que la radiación hace que el aire ambiental sobre la superficie de la Tierra sea más cálido y liviano que el aire (Leelossy et al., 2014; Rojano et al., 2016; Vidal y Pérez., 2018, Pacheco et al., 2020). AERMOD modela la dispersión, asumiendo que la concentración de los contaminantes en estado estable y considerando distintas situaciones para el estudio de la capa límite, siguen una distribución gaussiana (Páez et al., 2017).

El modelo computacional, ISC3 es una de las diversas herramientas matemáticas disponibles para el modelado de la dispersión, es una aplicación del modelo de penacho gaussiano de estado estable, es simple y económico, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) con fines normativos. Este fue el modelo elegido por la EPA hasta que fue reemplazado por AERMOD en 2006. Desde entonces, ISC ha sido llamado el “modelo alternativo”, aunque ahora se utiliza como modelo de gestión en muchas partes del mundo debido a su robustez, su capacidad de adaptarse a diferentes situaciones disponibilidad de los datos requeridos y relativa facilidad de uso en comparación con modelos más avanzados (Diez et al., 2014; Vidal y Pérez, 2018).

Tomando en consideración la importancia de la modelación de la dispersión atmosférica, el objetivo de

la presente investigación, es hacer una revisión sobre la literatura existente que aborden sobre la aplicación y el análisis de modelos para la dispersión de contaminantes a la atmósfera.

### **Método**

La revisión está sustentada en la declaración PRISMA (“Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses”). Se consideró estudios en los que se enfoca la utilidad de los modelos matemáticos para predecir la difusión de contaminantes gaseosos a la atmósfera. La búsqueda y recopilación de artículos originales pertinentes para esta revisión se realizó a nivel mundial para un periodo de 10 años, comprendido desde el 2013 al 2022. Los idiomas inglés, portugués y español fueron los seleccionados. Para resumir la información, los artículos se agruparon considerando los modelos utilizados para estudiar el comportamiento de la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Siendo así, se utilizaron para la recopilación de la información, las siguientes bases de datos; ScienceDirect, Dialnet, Scielo, ScienceResearch, PubMed y Redalyc.

Se utilizó el siguiente motor de búsqueda booleana: (dispersion models) or (pollutant dispersion models), (Gaussian dispersion model), (Air Pollution Dispersion) and (Gaussian plume model)) not (non Gaussian). El

proceso de recopilación y organización de la información incluyó: título en inglés, portugués o español, revista que publica, país en el que se realiza el estudio, referencia, base de datos utilizada, tipo de estudio, resumen, objetivo del estudio, metodología, métodos de investigación, variables que analiza y resultados.

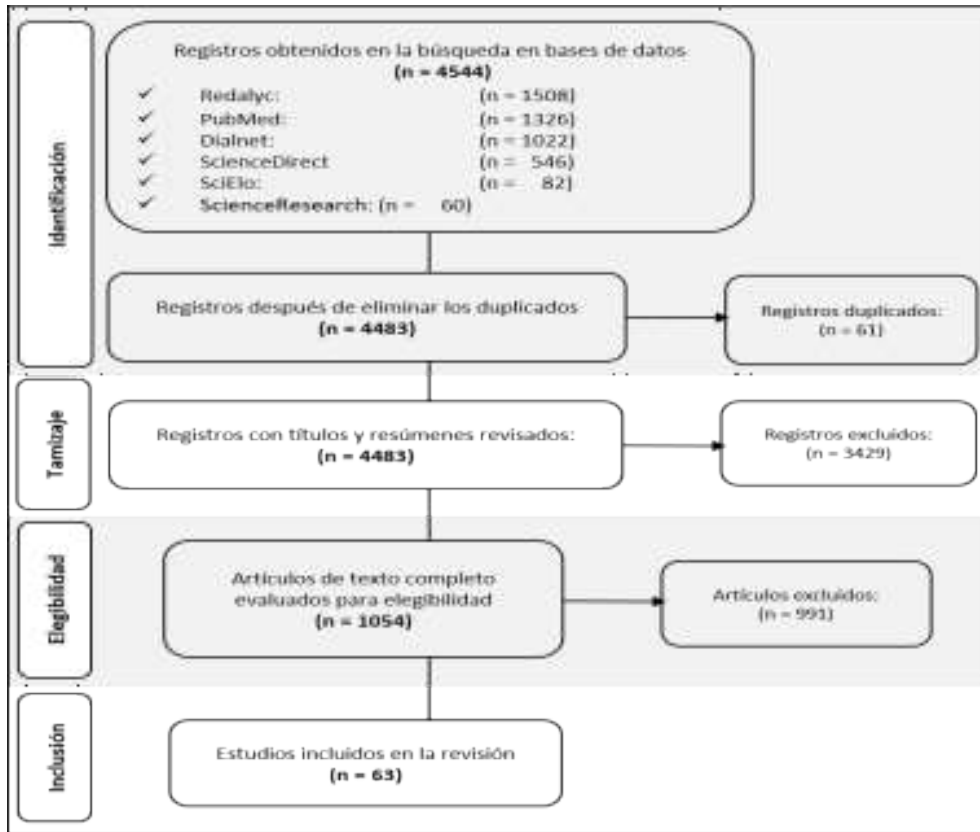
### **Resultados**

El resultado de la búsqueda en las diferentes bases de datos arrojó un total de 4544 registros, descartándose 61 de estos por duplicidad, considerando finalmente 4483 registros. Se revisaron los 4483 registros a nivel de títulos y resúmenes, excluyéndose 3429 de estos registros; 54 por ser artículos de revisión, 934 por estar relacionados con la incidencia en la salud, 52 por ser artículos referentes a normativas legales, 2389 registros por no estar relacionados con modelos de dispersión. Posteriormente, de los 1054 artículos elegidos, se excluyeron 991 de estos; 846 por ser estudios de dispersión de contaminantes en el agua y 145 artículos por tratarse de contaminantes radiactivos sin mencionar modelo de dispersión.

Finalmente, se incluyeron 63 artículos originales para su análisis y elaboración de la revisión sistemática. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo PRISMA para el análisis de la revisión sistemática.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo PRISMA adaptado del proceso de identificación y selección de los artículos científicos para el análisis de la revisión sistemática.*



En la Tabla 1, se muestran los 63 estudios originales incluidos en el análisis de la revisión sistemática realizada, ordenada por base de datos.

**Tabla 1**

*Estudios incluidos, ordenados por Base de Datos para el análisis de la revisión sistemática.*

Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
01	Estudio de calidad del aire en canteras a cielo abierto en General Roca, Argentina	Boletín Geográfico	Argentina	(Páez et al., 2017)	Dialnet
02	Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the AERMOD model in Huancayo Metropolitan, Peru	DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia	Perú	(Lizárraga et al., 2019)	Dialnet
03	Use of CFD modeling for estimating spatial representativeness of urban air pollution monitoring sites and suitability of their	Física de la tierra	España	(Santiago y Martín, 2015)	Dialnet

Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
04	Variables meteorológicas y niveles de concentración de material particulado de 10 µm en Andacollo, Chile un estudio de dispersión y entropías	Información tecnológica	Chile	(Pacheco et al., 2020)	Dialnet
05	Dispersión de contaminantes del aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una estación modular de compresión, tratamiento y medición de gas natural.	Información tecnológica	Colombia	(Rojano et al., 2016)	Dialnet
06	Impact of height and location of stacks in a Lagrangian particle model: industrial complex in Venezuela, case study.	Ingeniería Química y Desarrollo	Venezuela	(Rincón y Cremades, 2015)	Dialnet
07	Estimación de factores de emisión de material particulado resuspendido antes, durante y después de la pavimentación de una vía en Bogotá	Ciencia e Ingeniería Neogranadina	Colombia	(Méndez et al., 2017)	Dialnet
08	Estimación de la tasa de emisión de una fuente contaminante. Análisis de las soluciones obtenidas con diferentes tipos de datos	Ciencia y Tecnología	México	(Parra et al., 2020)	Dialnet
09	Dispersión de las Partículas de Emisiones Industriales en el Problema de Optimización Semi-infinita del Área Contaminada	Información tecnológica	Colombia	(Fedosova et al., 2019)	Dialnet
10	Formulación de una estrategia para el control puntual de un contaminante y su implementación usando cómputo paralelo	Información tecnológica	México	(Peña et al., 2022)	Dialnet
11	Estimación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por una industria papelera mediante el modelo AERMOD	Ingeniería	Colombia	(Vidal y Pérez, 2018)	Dialnet
12	Uncertainty propagation of meteorological and emission data in modeling pollutant dispersion in the atmosphere	Ingeniería e Investigación	Argentina	(Diez et al., 2014)	Dialnet
13	Estimación de emisiones de GEI y sus trayectorias en grandes incendios forestales en Cataluña, España	Madera y Bosques	España	(Balde y Vega, 2019)	Dialnet

Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
14	Dispersión de material particulado (PM10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos	Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo	Colombia	(Arrieta, 2016)	Dialnet
15	Modelamiento de material particulado emitidos por coquización. Municipio de Samaca, Boyacá	Revista logos ciencia y tecnología	Colombia	(Ramos y Benites, 2016)	Dialnet
16	Estimación y modelización de la dispersión de black carbon en el Valle de Aburrá, Colombia	TecnoLógicas	Colombia	(Roldán et al., 2021)	Dialnet
17	Air-pollutant mass concentration changes during COVID-19 pandemic in Shanghai, China	Air Qual Atmos Health	China	(Niu et al., 2020)	Pubmed
18	Wind tunnel tests of inter-flat pollutant transmission characteristics in a rectangular multi-storey residential building, part A:Effect of wind direction	Build Environ	China	(Mu et al., 2016)	Pubmed
19	Predicting indoor particle dispersion under dynamic ventilation modes with high-order Markov chain model	Build Simul	China	(Mei et al., 2021)	Pubmed
20	Source apportionment of airborne nanoparticles in a Middle Eastern city using positive matrix factorization	Environmental Science: Processes & Impacts	Kuwait	(Al-Dabbous y Kumar, 2015)	Pubmed
21	Tracking hazardous air pollutants from a refinery fire by applying on-line and off-line air monitoring and back trajectory modeling	Hazard Mater	Taiwán	(Shie y Chan, 2013)	Pubmed
22	Playing Chemical Plant Environmental Protection Games with Historical Monitoring Data	International Journal of Environmental Research and Public Health	China	(Zhu et al., 2017)	Pubmed
23	Landfill air and odour emissions from an integrated waste management facility	Journal of Environmental Health Science and Engineering	Nigeria	(Sonibare et al., 2019)	Pubmed
24	Air pollution and the incidence of ischaemic and haemorrhagic stroke in the South London Stroke Register: a case-cross-over analysis	Journal of Epidemiology and Community Health	Inglaterra	(Butland et al., 2017)	Pubmed

Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
25	Evaluation of Pollutants Along the National RoadN2 in Togo using the AERMOD Dispersion Model	Journal of health & pollution	Togo	(Amouzouvi et al., 2020)	Pubmed
26	Changes in source contributions to particle number concentrations afterthe COVID-19 outbreak: Insights from a dispersion normalized PMF	Science of The Total Environment	China	(Dai et al., 2021)	Pubmed
27	Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscaleair pollution dispersion models	Science of The Total Environment	USA	(Tiwari et al.2019)	Pubmed
28	A multi-city air pollution population exposure study: Combined use of chemical- transport and random- Forest models with dynamicpopulation data	Science of The Total Environment	Italia	(Gariazzo et al.2020)	Pubmed
29	Uma nova derivação da taxa de dissipação turbulenta para eventos deturbulência fraca e bem desenvolvida.	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Buligon et al.2013)	Redalyc
30	Convergence analysis of the GILTT method for problems in pollutant dispersion in the atmosphere	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Buske et al.2016)	Redalyc
31	Simulação tridimensional da dispersão de poluentesem condições de vento fraco e estáveis	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Cardoso et al., 2013)	Redalyc
32	Modelo para dispersão de poluentes na atmosfera com reflexão nos contornos estocásticos	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Fischer et al.2016)	Redalyc
33	Uma solução genuína da equação de advecção difusão com forma sesquilinear para problemamulti-fonte.	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Gish et al., 2016)	Redalyc
34	A semi-analytical dispersion model from a steady source of short duration	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Martins, 2014)	Redalyc
35	Modelo semi-lagrangeano de dispersão atmosférica- avaliação	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Ramires y Carvalho de Almeida 2016)	Redalyc
36	Solução da equação de advecção-difusão tridimensional pelo método GIADMT para dois termosde contragradiente	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Rui y Pinto da Costa, 2016)	Redalyc



Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
37	A new puff model applying an exact solution of diffusion equation	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Silva et al., 2013)	Redalyc
38	Desenvolvimento de um modelo matemático para descrever a dispersão de contaminantes em situações de meandro do vento horizontal	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Stefanello et al., 2016)	Redalyc
39	Dedução da equação da variância espacial lateral para uma nova formulação da função de autocorrelação lagrangiana.	Ciência e Natura, Santa Maria	México	(Szinvelski et al., 2013)	Redalyc
40	Resolução analítica da equação de difusão- advección considerando o termo de contragradiente aplicado à dispersão de poluentes na atmosfera	Ciência e Natura, Santa Maria	Brasil	(Venzke et al., 2013)	Redalyc
41	Metodología para la calibración de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio: dispersión de PM10 en el entorno de La Habana.	Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	Cuba	(González et al., 2013)	Redalyc
42	Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio	Revista Cubana de Química	Cuba	(Ordoñez et al., 2018)	Scielo
43	Source term estimation using air concentration measurements and a Lagrangian dispersion model – Experiments with pseudo and real cesium-137 observations from the Fukushima nuclear accident	Atmospheric Environment	Japón	(Chai et al., 2015)	Science Direct
44	Reactive puff model SCICHEM: Model enhancements and performance studies	Atmospheric Environment	USA	(Chowdhury et al., 2015)	Science Direct
45	Evaluation of the performance of different atmospheric chemical transport models and inter-comparison of nitrogen and sulphur deposition estimates for the UK	Atmospheric Environment	Inglaterra	(Dore et al., 2015)	Science Direct
46	Influence of an urban canopy model and PBL schemes on vertical mixing for air quality modeling over Greater Paris	Atmospheric Environment	Francia	(Kim et al., 2015)	Science Direct
47	Characteristics of PM2.5 spatial distribution and influencing meteorological conditions in Sichuan Basin, south-western China	Atmospheric Environment	China	(Liu et al., 2021)	Science Direct

Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
48	PM2.5 and gaseous pollutants in New York State during 2005-2016: Spatial variability, temporal trends, and economic influences	Atmospheric Environment	USA	(Squizzato et al., 2018)	Science Direct
49	Population based Air Pollution Exposure and its influence factors by Integrating Air Dispersion Modeling with GIS Spatial Analysis	Scientific Reports	USA	(Dong et al., 2020)	Science Research
50	Air quality assessment and pollution forecasting using artificial neural networks in Metropolitan Lima-Peru	Scientific Reports	Perú	(Hoyos et al., 2021)	Science Research
51	Modeling and simulation of air pollutant distribution in street canyon area with Skytrain stations	Advances in Difference Equations	Tailandia	(Chomcheon et al., 2019)	Science Research
52	Point source influence on observed extreme pollution levels in a monitoring network	Atmospheric Environment	USA	(Ensor et al., 2014)	Science Research
53	Factors influencing separation distances against odour annoyance calculated by Gaussian and Lagrangian dispersion models	Atmospheric Environment	Austria	(Piringer et al., 2016)	Science Research
54	Accidental benzene release risk assessment in an urban area using an atmospheric dispersion model	Atmospheric Environment	Corea del Sur	(Truong et al., 2016)	Science Research
55	Dispersion modelling of environmental odours using hourly-resolved emission scenarios: Implications for impact assessments	Atmospheric Environment: X	Austria	(Brancher et al., 2021)	Science Research
56	Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review	Central European Journal of Geosciences	Hungría	(Leelossy et al., 2014)	Science Research
57	Assessment of emission- source contribution to spatial dispersion for coal crusher agglomeration using prognostic model	Cleaner Engineering and Technology	India	(Srivastava y Elumalai, 2021).	Science Research
58	Theoretical and Experimental Study of Gaussian Plume Model in Small Scale System	Energy Procedia	Italia	(Brusca et al. 2016)	Science Research
59	A Study on Plume Dispersion Characteristics of Two Discrete Plume Stacks for Negative Temperature Gradient Conditions	Environmental Modeling & Assessment	Inglaterra	(Sivanandan et al., 2021)	Science Research

Nº	Título	Revista	País de Estudio	Referencia	Base de Datos
60	How tall buildings affect turbulent air flows and dispersion of pollution within a neighbourhood	Environmental Pollution	Inglaterra	(Aristodemou et al., 2018)	Science Research
61	Assessment of air flow distribution and hazardous release dispersion around a single obstacle using Reynolds-averaged Navier- Stokes equations	Heliyon	Inglaterra	(Vasilopoulos et al., 2019)	Science Research
62	Dynamic Correlation Analysis Method of Air Pollutants in Spatio- Temporal Analysis	International Journal of Environmental Research and Public Health	China	(Bai et al., 2020)	Science Research
63	Modeling and simulation of air pollutant distribution in street canyon area with Skytrain stations	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Inglaterra	(Cocea et al., 2014)	Science Research

La Tabla 2 muestra la referencia de cada estudio, incluyendo el modelo de dispersión utilizado, y el contaminante estudiado y se observa que los modelos más utilizados son los

modelos gaussianos (AERMOD, AERMOD View<sup>TM</sup>, AODM, GiS-AERMOD, WKBK2, SCREEN3, SCICHEM3, y los modelos lagrangianos (HYSPLIT, LASAT).

**Tabla 2**

*Modelo de dispersión utilizado, y contaminantes estudiados*

Nº	Referencia	Modelo de dispersión	Contaminante
1	(Páez et al., 2017)	AERMOD	PM10
2	(Lizarraga et al., 2019)	AERMOD	PM2,5
3	(Santiago, 2015)	CFD	NO2
4	(Pacheco et al., 2020)	El análisis caótico	PM10
5	(Rojano et al., 2016)	WKBK2	PM10, NO2, CO, COV, HAP
6	(Rincón y Cremades., 2015)	Lagrangiano	PST
7	(Méndez et al., 2017)	SCREEN3 y AERMOD	PM10, PM2,5, BC
8	(Parra et al., 2020)	Método inverso	-
9	(Fedossova et al., 2019)	Optimización Semi-infinita	PM10, PM2,5
10	(Peña et al., 2022)	Cómputo paralelo	-
11	(Vidal y Pérez, 2018)	AERMOD View <sup>TM</sup>	SO2, NO2, PST
12	(Diez et al., 2014)	USEPA ISC	PM10
13	(Balde y Vega, 2019)	HYSPLIT,	GEI
14	(Arrieta, 2016)	AERMOD	PM10
15	(Ramos y Benítez, 2016)	AERMOD	PST, PM10
16	(Roldán et al., 2021)	CAMx y BRAMS	BC
17	(Niu et al., 2020)	Lagrangiano	PM2,5, NO2, CO, SO2, O3
18	(Mu et al., 2016)	CFD	SF6
19	(Mei et al., 2021)	Cadena de Markov	NO

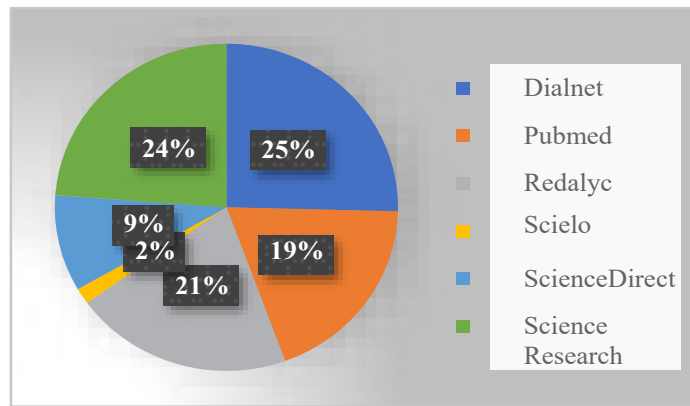
20	(Al-Dabbous y Kumar, 2015)	PMF	PM10
21	(Shie y Chan, 2013)	Trayectoria inversa	-
22	(Zhu et al., 2017)	CPEP	-
23	(Sonibare et al., 2019)	AERMOD	CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , COV, PM, OLORES
24	(Butland et al., 2017)	Regresión logística	PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
25	(Amouzouvi et al., 2020)	AERMOD	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM
26	(Dai et al., 2021)	PMF	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>
27	(Tiwari et al., 2019)	GI	PM, COV, O <sub>3</sub>
28	(Gariazzo et al., 2020)	Random-Forest	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub>
29	(Buligon et al., 2013)	Lagrangiano	-
30	(Buske et al., 2016)	GILTT	-
31	(Cardoso et al., 2013)	3D-GILTT	-
32	(Fischer et al., 2016)	Ec. bidimensional de advección-difusión en ET	-
33	(Gish et al., 2016)	Ec. bidimensional de advección-difusión en ET	-
34	(Martins 2014)	Ec. bidimensional de advección-difusión en ET	-
35	(Ramires y Carvalho de Almeida, 2016)	Semi-Lagrangiano	SO <sub>2</sub>
36	(Rui y Pinto da Costa, 2016)	GIADMT	-
37	(Silva et al., 2013)	GILTT-PUFF	-
38	(Stefanello et al., 2016)	Linealización de la ecuación de Langevin	-
39	(Szinvelski et al., 2013)	Parametrizaciones turbulentas	-
40	(Venzke et al., 2013)	ADMM	-
41	(González et al., 2013)	ISCST3	PM <sub>10</sub>
42	(Ordoñez et al., 2018)	Berlyand y SCREEN3	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> y PM
43	(Chai et al., 2015)	HYSPLIT.	Cs-137
44	(Chowdhury et al., 2015)	SCICHEM3	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>
45	(Dore et al., 2015)	Transporte químico atmosférico	N, S
46	(Kim et al., 2015)	Dosel Urbano	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
47	(Liu et al., 2021)	EOF	PM <sub>2,5</sub>
48	(Squizzato et al., 2018)	Promedios Estacionales	PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO, NO <sub>x</sub>
49	(Dong et al., 2020)	GiS-AERMOD	SO <sub>2</sub>
50	(Hoyos et al., 2021)	Hold-out, BNCV	PM <sub>10</sub>
51	(Chomcheon et al., 2019)	IBVP	CO <sub>2</sub>
52	(Ensor et al., 2014)	ODZINB	VOC
53	(Piringer et al., 2016)	AODM- LASAT	OLORES
54	(Truong et al., 2016)	AERMOD	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
55	(Brancher et al., 2021)	AERMOD	OLORES
56	(Leelossy et al., 2014)	Comparación de Modelos	-
57	(Srivastava y Elumalai, 2021)	AERMOD	SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub>
58	(Brusca et al., 2016)	Gaussiana de Pluma	PM <sub>10</sub>

59	(Sivanandan et al., 2021)	k-ε, FLUENT	CO, SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub>
60	(Aristodemou et al., 2018)	FLUIDITY-CDF	-
61	(Vasilopoulos et al., 2019)	RANS - LES	-
62	(Bai et al., 2020)	Análisis de Correlación Dinámica	-
63	(Cocca et al., 2014)	Penacho gaussiano	-

En base a la Tabla 1, se han elaborado las Figura 2, 3 y que se presentan a continuación.

**Figura 2**

*Porcentaje de estudios incluidos por Base de Datos para el análisis de la revisión sistemática*

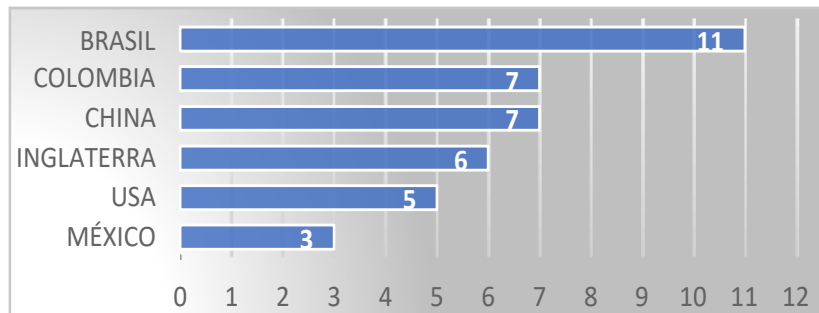


En la Figura 2 se muestran las Bases de Datos que más aportaron para esta revisión: Dialnet con un 25% de publicaciones en español, Science

Research con un 24% de publicaciones en inglés, Redalyc con un 21% de publicaciones en portugués y Pubmed con 19% de publicaciones en inglés.

**Figura 3**

*Número de estudios incluidos por país para el análisis de la revisión sistemática*

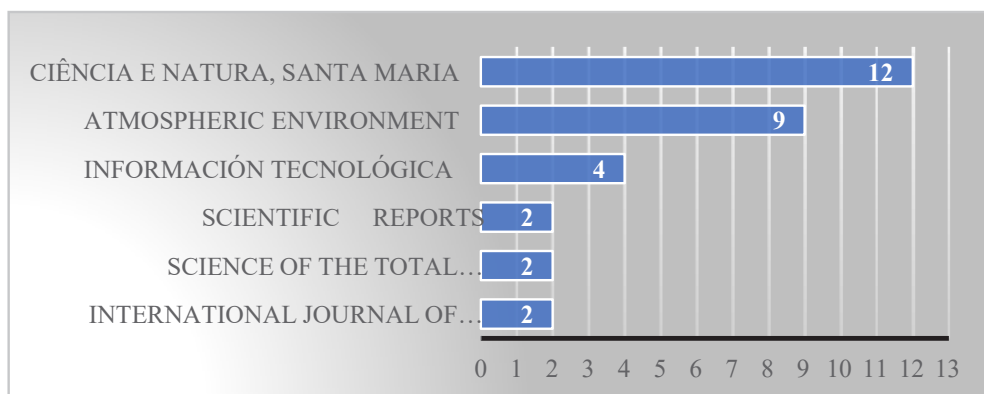


En la Figura 3 se reporta que los países que más han publicado sobre el tema de esta revisión sistemática fueron: Brasil, Colombia, China, Inglaterra y Estados Unidos. No se incluyen en la figura a Perú, Italia, España, Cuba Austria y Argentina que tienen dos publicaciones cada uno, y finalmente con una

publicación los países Venezuela, Togo, Taiwán, Tailandia, Nigeria, Kuwait, Japón, India, Hungría, Francia, Corea del sur y Chile. Los trabajos brasileños están enfocados a encontrar soluciones matemáticas y/o numéricas de ecuación general de transporte.

**Figura 4**

*Número de estudios incluidos por revista para el análisis de la revisión sistemática*



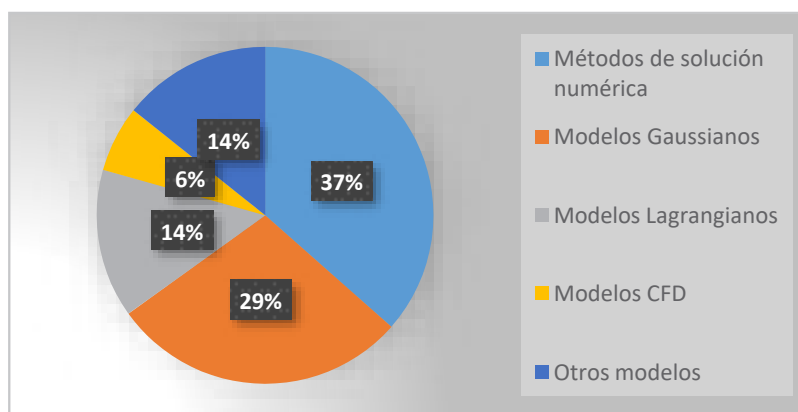
La Figura 4 muestra que las revistas que más han publicado sobre el tema de esta revisión sistemática fueron: *Ciência e Natura, Santa Maria, Atmospheric Environment e Información Tecnológica, Scientific Reports, Science of The Total Environment, International Journal of*

*Environmental Research and Public Health.*

La revista brasileña, *Ciência e Natura, Santa Maria* se aboca a nuevas técnicas de solución de la ecuación de transporte.

**Figura 5**

*Porcentaje de modelos de dispersión utilizados en los estudios incluidos para el análisis de la revisión sistemática*



### Discusión

Los modelos gaussianos y sus variantes, con un 29 %, son los más utilizados para describir la dispersión de contaminantes del aire a la atmosfera (Arrieta, 2016; Brusca et al., 2016; Ramos y Benítez, 2016; Rojano et al., 2016; Páez et al., 2017; Méndez et al., 2017; Lizarraga et

al., 2019; Amouzouvi et al., 2020), los usaron para pronosticar la concentración de material particulado, PM<sub>2,5</sub> y/o PM<sub>10</sub> y sus resultados fueron validados con los datos históricos; la dispersión de olores también fue estudiada por varios investigadores (Piringer et al., 2016; Sonibare et al., 2019; Brancher et al., 2021), que utilizaron modelos gaussianos

y mostraron el impacto que tienen en la población aledaña a la fuente emisora.

Los modelos lagrangianos y sus variantes con un 14 % (Buligon et al., 2013; Szinvelski et al., 2013; Leelossy et al., 2014; Rincón y Cremades, 2015; Chai et al., 2015; Ramires y Carvalho de Almeida, 2016; Piringer et al., 2016; Balde y Vega, 2019; Niu et al., 2020) se han ocupado de la importancia que implica el modelado para predecir el comportamiento de la dispersión de contaminantes del aire a la atmósfera y del impacto en medio ambiente y en la salud. Son mucho más complejos y pronostican mejor la dispersión de contaminantes y olores porque consideran la variable tiempo.

Se ha empleado el modelado de dinámica de fluidos computacional (CFD) en un túnel de viento, con un 14 % (Leelossy et al., 2014; Santiago y Martín, 2015; Mu et al. 2016, Aristodemou et al., 2018), y estudiaron el transporte de contaminantes entre pisos en un entorno residencial con el propósito de prevenir el riesgo de contagio de enfermedades respiratorias y el efecto que tienen estos edificios en la dispersión de contaminantes porque afectan los flujos de aire y patrones de dispersión generando zonas muertas y puntos calientes.

Los esfuerzos por encontrar una solución analítica o numérica de la ecuación de advección-difusión para describir la dispersión de contaminantes atmosférico ha llevado a muchos investigadores, 37 % (Cardoso et al., 2013; Martins, 2014; Al-Dabbous y Kumar., 2015; Buske et al., 2016; Fischer et al., 2016; Gish et al., 2016; Butland et

al., 2017; Fedossova et al., 2019; Parra et al., 2020; Dai et al., 2021; Peña et al., 2022), a analizar la convergencia del método GILTT para predecir la dispersión de contaminantes atmosférico y nos presentan una solución analítica de la ecuación advección-difusión conjuntamente con resultados numéricos consistentes.

## Conclusiones

Esta revisión literaria muestra la importancia y utilidad de los modelos de dispersión atmosférica y los estudios presentados muestran la aplicabilidad de un modelo u otro, pero dependiendo del escenario, los resultados pueden ser muy diferentes. La selección del modelo depende del tiempo, escenario, fuente de emisión y la estabilidad atmosférica. La importancia que tiene el control de la contaminación nos lleva a la utilización de modelos que nos permitan pronosticar la concentración de la dispersión de contaminantes atmosféricos; estos pueden ser teóricos o semi teóricos, y en la medida que en el modelo se incluyan los parámetros adecuados, para lograr aproximar a la realidad, los resultados, mostrados, serán muy confiables, pero ello conlleva a un modelo muy complejo, y que los modelos más utilizados son los gaussianos (estado estable) y los lagrangianos (estado transiente). Se están realizando grandes esfuerzos para la obtención de modelos teóricos que resultan de la solución de la ecuación advección-difusión, para ello la ecuación se simplifica de tal manera que incluya la mayor cantidad de parámetros a fin de obtener un modelo que reproduzca satisfactoriamente la dispersión de contaminantes.

## Referencias

- Al-Dabbous, A. N. y Kumar, P. (2015). Source apportionment of airborne nanoparticles in a Middle Eastern city using positive matrix factorization. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(4), 802-812. <http://dx.doi.org/10.1039/c5em00027k>
- Amouzouvi, Y. M., Dzagli, M. M, Sagna, K, Török, Z., Roba, C. A., Mereuță, A., Ozunu, A. y Edjame, K. S. (2020). Evaluation of Pollutants Along the National Road N2 in Togo using the AERMOD Dispersion Model. *Journal of health & pollution*, 10(27), 200908. <http://dx.doi.org/10.5696/2156-9614-10.27.200908>
- Aristodemou, E., Boganegra, L. M., Mottet, L, Pavlidis, D., Constantinou, A., Pain, Ch., Robins, A. y ApSimone, H. (2018). How tall buildings affect turbulent air flows and dispersion of pollution within a neighbourhood. *Environmental Pollution*, 233, 782-796. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.041>
- Arrieta, A. J. (2016). Dispersión de material particulado (PM 10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43-54. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096112>
- Bai, Y., Jin, X., Wang, X. Y., Wang, X. K. y Xu, J. (2020). Dynamic Correlation Analysis Method of Air Pollutants in Spatio-Temporal Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 360. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010360>
- Balde, B. y Vega, C. (2019). Estimación de emisiones de GEI y sus trayectorias en grandes incendios forestales en Cataluña, España. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521764. <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2019.2521764>
- Brancher, M., Hoinaski, L., Piringer, M., Prata, A. A. y Schaubberger, G. (2021). Dispersion modelling of environmental odours using hourly-resolved emission scenarios: Implications for impact assessments. *Atmospheric Environment: X*, 12, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.aea.2021.100124>
- Brusca, S., Famoso, F., Lanzafame, R., Mauro, S., Cugno, A. M. y Monforte, P. (2016). Theoretical and experimental study of Gaussian Plume model in small scale system. *Energy Procedia*, 101, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.008>
- Buligon, L., Degrazia, G. A., Szinvelski, C. R. P. y Moor, L. (2013). Uma nova derivação da taxa de dissipação turbulenta para eventos de turbulência fraca e bem desenvolvida. *Ciência e Natura, Edição Especial*, 270-272. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546172086>



- Buske, D., Zen, C., Sperotto de Quadros, R., Aguiar, G. y Avila, J. (2016). Convergence analysis of the GILTT method for problems in pollutant dispersion in the atmosphere. *Ciência e Natura*, 38, 182-189. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X20156>
- Butland, B. K., Atkinson, R. W., Crichton, S., Barratt, B., Beevers, S., Spiridou, A., Hoang, U., Kelly, F.J. y Wolfe, C. D. (2017). Air pollution and the incidence of ischaemic and haemorrhagic stroke in the South London Stroke Register: a case- cross-over analysis. *Journal of Epidemiology and Community Health is a global*, 71(7), 707-712. <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2016-208025>
- Cardoso, V., Buske, D., Sperotto, R. y Carvalho, J. (2013). Simulação tridimensional da dispersão de poluentes em condições de vento fraco e estáveis. *Ciência e Natura*, noviembre, 365-367. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546172114>
- Chai, T., Draxler, R. y Steina, A. (2015). Source term estimation using air concentration measurements and a Lagrangian dispersion model – Experiments with pseudo and real cesium-137 observations from the Fukushima nuclear accident. *Atmospheric Environment*, 106, 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.070>
- Chomcheon, S., Khajohnsaksumeth, N., Wiwatanapataphee, B. & Ge, X. (2019). Modeling and simulation of air pollutant distribution in street canyon area with Skytrain stations. *Advances in Difference Equations*, 459(2019). <https://doi.org/10.1186/s13662-019-2382-z>
- Chowdhury, B., Karamchandani, P. K., Sykes, R. I., Henn, D. S. y Knipping, E. (2015). Reactive puff model SCICHEM: Model enhancements and performance studies. *Atmospheric Environment*, 117, 242-258. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.012>
- Cocca, O., Goulart, E. V. Branford, S., Thomas, T. G. y Belcher, S. E. (2014). Flow structure and near-field dispersion in arrays of building-like obstacles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 125, 52-68. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.11.013>
- Dai Q, Ding J, Song C, Liu B, Bi X, Wu J, Zhang Y, Feng Y y Hopke PK. (2021). Changes in source contributions to particle number concentrations after the COVID-19 outbreak: Insights from a dispersion normalized PMF. *Science of The Total Environment*, 759, 143548. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143548>
- Diez, S., Barra, E., Crespo, F. y Britch, J. (2014). Uncertainty propagation of meteorological and emission data in modeling pollutant dispersion in the atmosphere. *Ingeniería e Investigación*, 34(2), 44-48. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4831640>

- Dong, X., Zhao, X., Peng, F. & Wang, D. (2020). Population based Air Pollution Exposure and its influence factors by Integrating Air Dispersion Modeling with GIS Spatial Analysis. *Scientific Reports*, 10, 479. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57385-9>
- Dore, A. J., Carslaw, D. C., Braban, C., Cain, M., Chemel, C., Conolly, C., Derwent, R. G., Griffiths, S. J., Hall, J., Hayman, G., Lawrence, S., Metcalfe, S. E., Redington, A., Simpson, D., Sutton, M. A., Sutton, P., Tang, Y. S., Vieno, M., Werner, M., y Whyatt, J. D. (2015). Evaluation of the performance of different atmospheric chemical transport models and inter-comparison of nitrogen and sulphur deposition estimates for the UK. *Atmospheric Environment*, 119, 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.008>
- Ensor, K. B., Ray, B. K. y Charltona, S. J. (2014). Point source influence on observed extreme pollution levels in a monitoring network. *Atmospheric Environment*. 92, 191-198. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.017>
- Fedossova, A., Fedosov, V. V. y Britto, R. A. (2019). Dispersión de las Partículas de Emisiones Industriales en el Problema de Optimización Semi-infinita del Área Contaminada. *Información Tecnológica*, 30, 333-344. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100333>
- Fischer, J., Bodmann, B. E. J., y Menna, M. T. (2016). Modelo para dispersão de poluentes na atmosfera com reflexão nos contornos estocásticos. *Ciência e Natura*, 38, 342- 346. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X20282>
- Gariazzo, C., Carlino G., Silibello, C., Renzi M., Finardi, S., Pepe, N., Radice, P., Forastiere, F., Michelozzi, P., Viegli, G., Stafoggia, M., y BEEP Collaborative Group. (2020). A multi-city air pollution population exposure study: Combined use of chemical-transport and random-Forest models with dynamic population data. *Science of The Total Environment*, 724, 138102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138102>
- Gish, D. L., Bodmann, B. y Menna, M. T. (2016). Uma solução genuína da equação de advecção difusão com forma sesquilinear para problema multi-fonte. *Ciência e Natura*, 38, 80-83. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X20092>
- González, M. B., Saturnino F. Pire, S. F., Luis F. Cuesta, L. F. y López, P. A. (2013). Metodología para la calibración de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio: dispersión de PM10 en el entorno de La Habana. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 69, 274-288. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029812021>
- Hernández, A., Jauregui, U., Souto, J. A., Casares, J. J., Saavedra, S., Guzmán, F. y Torres, A. (2015). Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones. *UCE*

- Ciencia. Revista de postgrado*, 3(2). <http://uceciencia.edu.do/index.php/OJS/article/viewFile/49/45>
- Hoyos, C., Lopez, M. N. L., Salas, R., Torres, R., Canas, P. y López-Gonzales, J. (2021). Air quality assessment and pollution forecasting using artificial neural networks in Metropolitan Lima-Peru. *Scientific Reports*, 11, 24232. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03650-9>
- Kim, Y., Sartelet, K., Raut, J. y Chazette, P. (2015). Influence of an urban canopy model and PBL schemes on vertical mixing for air quality modeling over Greater Paris. *Atmospheric Environment*, 107, 289-306. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.02.011>
- Leelossy, A., Molnár Jr., J., Izsák, F., Havasi, A., Lagzi, I. y Mészáros, R. (2014). Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review. *Central European Journal of Geosciences*, 6(3), 257-278. <http://dx.doi.org/10.2478/s13533-012-0188-6>
- Liu, Y., Shi, G., Zhan, Y. y Yang, F. (2021). Characteristics of PM<sub>2.5</sub> spatial distribution and influencing meteorological conditions in Sichuan Basin, southwestern China. *Atmospheric Environment*, 253, 118364. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118364>
- Lizarraga, I. J., Pomalaya, J. E., Suárez, L. F. y Bendezu, Y. (2019). Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the AERMOD model in Huancayo Metropolitan, Peru. *DYNA*. 86(211), 346-353. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7303642>
- Martins, D. (2014). A semi-analytical dispersion model from a steady source of short duration. *Ciência e Natura*, 36, 149-159. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X13489>
- Mei, X., Zeng, C. y Gong, G. (2021). Predicting indoor particle dispersion under dynamic ventilation modes with high-order Markov chain model. *Building Simulation*, 25, 1- 16. <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-021-0855-y>
- Méndez, J. F., Pinto, L. C., Galvis, B. R. y Pachón, J. E. (2017). Estimación de factores de emisión de material particulado resuspendido antes, durante y después de la pavimentación de una vía en Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27, 43- 60. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1797>
- Mu, D., Gao, N. y Zhu, T. (2016). Wind tunnel tests of inter-flat pollutant transmission characteristics in a rectangular multi-storey residential building, part A: Effect of wind direction. *Building and Environment*, 108, 159-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.032>
- Niu, Z., Hu, T., Kong, L., Zhang, W., Rao, P., Ge, D., Zhou, M. y Duan, Y. (2020). Air-pollutant mass concentration changes during COVID-19 pandemic in Shanghai,

- China. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14, 523-532. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-020-00956-x>
- Ordoñez, Y. C., Reinoso, M., Hernández, C. A. y Canciano, J. (2018). Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio. *Revista Cubana de Química*, 30(1), 90-103. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind08118.pdf>
- Pacheco, P. R., Parodi, M. C., Eduardo M. Mera, E. M. y Salini, G. A. (2020). Variables meteorológicas y niveles de concentración de material particulado de 10 µm en Andacollo, Chile: un estudio de dispersión y entropías. *Información Tecnológica*. 31, 171-182. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000600171>
- Páez, P.A., Cogliati, M.G. y Giacosa, R.A. (2017). Estudio de calidad del aire en canteras a cielo abierto en General Roca, Argentina. *Boletín geográfico*, 39, 53-71. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232750>
- Parra, D., Skiba, Y. y Bustamante, F. J. (2020). Estimación de la tasa de emisión de una fuente contaminante-Análisis de las soluciones obtenidas con diferentes tipos de datos. *Ciencia y Tecnología*, 36(2), 12-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746105>
- Peña, D., Parra, D. y Skiba, Y. N. (2022). Formulación de una estrategia para el control puntual de un contaminante y su implementación usando cómputo paralelo. *Información Tecnológica*, 33(1), 35-48. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100035>
- Piringer, M., Knauder, W., Petz, E. y Schauburger, G. (2016). Factors influencing separation distances against odour annoyance calculated by Gaussian and Lagrangian dispersion models. *Atmospheric Environment*, 140, 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.056>
- Ramires, L. y Carvalho de Almeida, R. (2016). Modelo semi-lagrangiano de dispersão atmosférica-avaliação. *Ciência e Natura*, 38, 418-425. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X20307>
- Ramos, A. y Benítez, D.M. (2016). Modelamiento de material particulado emitidos por coquización. Municipio de Samaca, Boyacá. *Revista Logos Ciencia y Tecnología*, 8(2), 159-169. <https://doi.org/10.22335/rlct.v8i2.303>
- Rincón, G. y Cremades, L. (2015). Impact of height and location of stacks in a Lagrangian particle model: industrial complex in Venezuela, case study. *Revista Ingeniería Química y Desarrollo*, 1(2), 29-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8266861>
- Rojano, R. E., Mendoza, Y. I., Arregoces, H. A. y Restrepo, G. M. (2016). Dispersión de contaminantes del aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una

- estación modular de compresión, tratamiento y medición de gas natural. *Información Tecnológica*, 27(5), 99-110. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000500012>
- Roldán, J. C., Toro, J. C. y Marín, A. (2021). Estimación y modelización de la dispersión de black carbón en el Valle de Aburrá, Colombia”. *Tecnológicas*, 24(50), e1580. <https://doi.org/10.22430/22565337.1580>
- Rui, K. y Pinto da Costa, C. (2016). Solução da equação de advecção-difusão tridimensional pelo método GIADMT para dois termos de contragradiante. *Ciência e Natura*, 38, 53-60. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X19854>
- Santiago, J.L. y Martín, F. (2015). Use of CFD modeling for estimating spatial representativeness of urban air pollution monitoring sites and suitability of their locations. *Física de la Tierra*, 27, 191-221. <http://dx.doi.org/10.5209/rev.FITE.2015.v27.51200>
- Shie, R. H. y Chan, C. C. (2013). Tracking hazardous air pollutants from a refinery fire by applying on-line and off-line air monitoring and back trajectory modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 72-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.017>
- Silva, E. J. G., Tirabassi, T., Buske, D. y Vilhena, M.T. (2013). A new puff model applying an exact solution of diffusion equation. *Ciência e Natura*, noviembre, 109-111. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546172036>
- Sivanandan, H., Kishore, V. R., Goel, M. y Asthana, A. (2021). A Study on Plume Dispersion Characteristics of Two Discrete Plume Stacks for Negative Temperature Gradient Conditions. *Environmental Modeling & Assessment*, 26, 405-422. <https://doi.org/10.1007/s10666-020-09747-1>
- Sonibare, O. O., Adeniran, J. A. y Bello, I. S. (2019). Landfill air and odour emissions from an integrated waste management facility. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(1), 13-28. <http://dx.doi.org/10.1007/s40201-018-00322-1>
- Squizzato, S., Masiola, M., Rich, D. Q. y Hopke, P. K. (2018). PM2.5 and gaseous pollutants in New York State during 2005–2016: Spatial variability, temporal trends, and economic influences. *Atmospheric Environment*, 183, 209-224. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.045>
- Srivastava, A. y Elumalai, S. P. (2021). Assessment of emission-source contribution to spatial dispersion for coal crusher agglomeration using prognostic model. *Cleaner Engineering and Technology*. 3, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100113>
- Stefanello, M. B., Degrazia, G. A., Maldaner, S. Buriol, C., Moor, L. P., Carvalho, J. C., Mortarini, L. y Rizza, U. (2016). Desenvolvimento

- de um modelo matemático para descrever a dispersão de contaminantes em situações de meandro do vento horizontal. *Ciência e Natura*, 38, 326-329. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547689053>
- Szinvelski, C. R. P., Degrazia, G. A., Buligon, L., y Moor, L. (2013). Dedução da equação da variação espacial lateral para uma nova formulação da função de autocorrelação lagrangiana. *Ciência e Natura*, noviembre, 187-190. <http://dx.doi.org/10.5902/2179-460X11597>
- Tiwari, A., Kumar, P., Baldauf, R., Zhang, K. M., Pilla, F., Di Sabatino, S., Brattich, E. y Pulvirenti, B. (2019). Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscale air pollution dispersion models. *Science of The Total Environment*, 672, 410-426. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.350>
- Truong, S. C. H., Lee, M., Kim, G., Kim, D., Park, J., Choi, S. y Cho, G. (2016). Accidental benzene release risk assessment in an urban area using an atmospheric dispersion model. *Atmospheric Environment*, 144, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.075>
- Vasilopoulos, K., Sarris, I. E. y Tsoutsanisa, P. (2019). Assessment of air flow distribution and hazardous release dispersion around a single obstacle using Reynolds-averaged Navier-Stokes equations. *Helvion*, 5(4), e 01482. <https://doi.org/10.1016/j.helivon.2019.e01482>
- Venzke, C., Costa, C. P. y Pergher, R. (2013). Resolução analítica da equação de difusão- advecção considerando o termo de contragradiante aplicado à dispersão de poluentes na atmosfera. *Ciência e Natura*, noviembre, 115-118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546172038>
- Vidal, O. A. y Pérez, A. P. (2018). Estimación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por una industria papelera mediante el modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6251504>
- Zhu, Z., Chen, B., Reniers, G., Zhang, L., Qiu, S. y Qiu, X. (2017). Playing Chemical Plant Environmental Protection Games with Historical Monitoring Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1155. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14101155>