



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Modelos de Predicción de Smog Fotoquímico en el Ambiente.
Revisión Sistemática, 2022.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Alva Rivera, Santos Einever (ORCID: 0000-0002-6914-1210)

Trigoso Yalta, Edwin (ORCID: 0000-0002-2070-9901)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

LIMA - PERÚ

2022

Dedicatoria

ALVA RIVERA, SANTOS EINEVER

A mis padres y familiares en su conjunto, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, mucho de mis logros los debo a ustedes como la constancia, perseverancia en los que se incluye al presente. Me formaron con valores y actitudes, pero al final de cuentas me sirvieron indiscutiblemente para alcanzar cada una de mis metas propuestas, este es un peldaño que va ascendiendo en mi vida por lo que es participe dedicar este presente trabajo a cada uno de ustedes que posibilitaron su apoyo incondicional con mi persona.

TRIGOSO YALTA, EDWIN

Se la dedico a la persona que forjo mi camino, a mi madre la señora Gloria Esperanza Yalta Tenorio, la que me acompaña y siempre es participe de mis éxitos y tropiezos, pero siempre desprendida de amor sincero e incondicional. A mis hermanos Wilson, Rohely, Milton, Jorge, Herling, Edward, por brindarme su apoyo incondicional lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Finalmente a mi esposa Merilit y mi hija Ivanna, por la motivación constante para alcanzar mis anhelos, metas y triunfos en la vida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios porque su amor y bondad que nos tiene, nos permite sonreír ante nuestros logros que son resultado de su ayuda, levantándonos en cada caída y prueba que pasamos en nuestras vidas, vamos aprendiendo de nuestros errores y nos damos cuenta que tu amor incondicional nos hace ser mejores seres humanos y crecer en los diversos ámbitos.

Este trabajo de tesis se logró con la bendición en todo el sentido de la palabra, agradeciendo infinitamente a nuestro creador, ya que es gratificante el agradecimiento por la vida, el cuerpo y la salud, así como los logros.

Mil gracias por estar siempre presente en cada etapa de nuestra vida, ofreciéndonos lo mejor a cada uno de nosotros, para ser cada vez mejores personas.

Finiquitando con estas frases, agradezco a esta casa de estudios, como a los docentes que nos guiaron en el proceso de nuestra formación profesional, como parte fundamental en nuestra futura labor y desempeño como profesionales en la materia, a nuestros padres, familiares y conocidos por su apoyo incondicional, a todos los mencionados, no nos queda otra cosa que ser expresivo nuestro sentir de agradecimiento por todo lo brindado.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categorización y matriz de categorización.....	17
3.3. Escenario de estudio.....	20
3.4. Participantes	20
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.6. Procedimientos	22
3.7. Rigor científico	22
3.8. Método de análisis de datos.....	23
3.9. Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS.....	48

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Matriz de categorización</i>	17
Tabla 2 <i>Búsqueda de base de datos</i>	20
Tabla 3 <i>Componentes que forman el smog fotoquímico</i>	30
Tabla 4 <i>Factores metereológicos que intervienen en la formación del smog fotoquímico</i>	34
Tabla 5 <i>Principales fuentes de generación del smog fotoquímico</i>	37
Tabla 6 <i>Modelos para estudiar el smog fotoquímico</i>	41

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del smog fotoquímico. Fuente: Xu et al., (2021).....	6
Figura 2 Factores meteorológicos que inciden en la concentración de PM _{2.5} . Fuente: Chen et al. (2020).....	10
Ecuacion 1. Modelo de transporte químico de contaminación del aire. Fuente: Bang et al. (2018)	12
Ecuacion 2 Modelo GAM. Fuente: HOU Y XU (2022).....	12
Ecuación 3 Modelo VARMA-EGARCH. Fuente: Yang y Lung (2021).....	13
Figura 3 Sistemas de modelado CMAQ y CAMx. Fuente: Wang et al. (2021).....	14
Figura 4 Modelo (DBN-BP). Fuente: Jiawei et al. (2022).....	14
Figura 5 <i>Procedimiento de selección, exclusión y número de estudios seleccionados</i>	22

Resumen

La investigación tuvo el siguiente objetivo general: Evaluar los modelos de predicción de smog fotoquímico en el ambiente en la actualidad. La metodología correspondió a una investigación de tipo básica, con un diseño no experimental, de recolección de 80 artículos científicos. Los resultados señalaron que la composición química del smog fotoquímico, esta basada en componentes químicos primarios como secundarios, los cuales se relacionaron a los factores meteorológicos como la presión atmosférica, la temperatura, la velocidad y dirección del viento; así como, la prevalencia en cuanto a la radiación UV y la humedad relativa, asociados mediante modelos como WRF-CAMx, EGARCH, Modelo (DBN-BP), CMAQ. En conclusión, el modelo WRF-CAMx es un modelo de predicción numérica que usa datos de clima que usa dominios que van desde pocos metros hasta miles de kilómetros en cuanto tamaño; mientras que los modelos EGARCH y (DBN-BP) muestran buen rendimiento para la medición de la neblina incluso en altas concentraciones de contaminación. Sistemas de modelado CMAQ y CAMx, este último mide la calidad del aire con un alcance desde un barrio e incluso un continente y trabaja con datos meteorológicos que pueden ser recolectados por otros modelos para la predicción del clima.

Palabras clave: smog fotoquímico, ambiente, contaminación, componentes químicos, modelos de predicción.

Abstract

The research had the following general objective: To evaluate the photochemical smog prediction models in the environment today. The methodology corresponded to a basic type research, with a non-experimental design, collecting 80 scientific articles. The results indicated that the chemical composition of photochemical smog is based on primary and secondary chemical components, which were related to meteorological factors such as atmospheric pressure, temperature, wind speed and direction; as well as the prevalence in terms of UV radiation and relative humidity, associated through models such as WRF-CAMx, EGARCH, Model (DBN-BP), CMAQ. In conclusion, the WRF-CAMx model is a numerical prediction model that uses climate data using domains ranging from a few meters to thousands of kilometers in size; while the EGARCH and (DBN-BP) models show good performance for haze measurement even at high pollution concentrations. CMAQ and CAMx modeling systems, the latter measures air quality with a range from a neighborhood and even a continent and works with meteorological data that can be collected by other models for climate prediction.

Keywords: photochemical smog, environment, pollution, chemical components, prediction models.

I. INTRODUCCIÓN

El smog fotoquímico, es considerado como una de las más grandes preocupaciones para la población y para aquellas organizaciones que se enfocan en la preservación del ecosistema, las mismas que buscan contrarrestar los daños provocados por las diversas actividades que realiza el hombre (Fenglei et al., 2020). Asimismo, involucra considerables cambios en las características biológicas, físicas o químicas no solo de la tierra o agua, sino también en el aire, lo cual afecta de forma nociva la calidad del ambiente y la calidad de vida de las personas (Moreira, 2018).

De igual modo, el smog fotoquímico representa un fenómeno originado por la formación de ozono troposférico en capas bajas de la atmosfera, simbolizando una contaminación de aire que es más frecuente en zonas urbanas por el ozono generado producto de las reacciones fotoquímicas, así como por otros compuestos (Bang et al., 2019). A nivel internacional se han realizado estudios para la evaluación de la calidad del aire en las ciudades, evidenciando las fuentes que tienden a generar los contaminantes, sin embargo, dichos estudios han contado con ciertas limitaciones al no haber hecho uso de modelos apropiados para la predicción respecto al smog fotoquímico, exponiendo así la necesidad de la implementación de los modelos de predicción para futuras indagaciones (Zhang et al., 2021).

Por su parte, la OMS ha indicado que el smog fotoquímico es considerado un gran riesgo tanto medioambiental como para la salud humana, señalando que a nivel mundial alrededor de 4.2 millones de muertes son asociadas a la contaminación atmosférica que presentan las ciudades (Jialin et al., 2020). Además, manifestó que entre las fuentes principales atribuidas al origen de este tipo de contaminación se identificó el incremento excesivo de vehículos, así como al aumento de actividades de las grandes fábricas o industrias (Raza, 2021).

Cabe hacer mención que el smog fotoquímico o smog de los Ángeles, es un fenómeno sujeto a las condiciones meteorológicas y concentraciones de contaminantes (Qu et al., 2021). Con la puesta en marcha del estudio, los investigadores buscan analizar los modelos que favorecen en la predicción de

eventos del smog fotoquímico sobre la salud humana, así como en el medio ambiente, por lo mismo que se ha partido del estudio de información básica como los diversos componentes químicos que lo conforman, los cuales no son más que sustancias elaboradas desde la combinación química de dos a más elementos químicos o átomos, entre ellos se identifican los COV, NO_x, NO₂, SOA, PM_{2.5}, entre otros (Nihal et al., 2021). También se han evaluado los factores meteorológicos, los mismos que tienden a crear modificaciones o limitar elementos del clima e influyen decisivamente sobre los componentes químicos (Ulutas et al., 2021). Igualmente, se evaluaron las fuentes, que son aquellos factores que dan origen al smog fotoquímico, entre los cuales destacaron las industrias, vehículos y la quema de biomasa (Jiayu et al. 2020). Finalmente, se analizaron los diversos modelos, entre ellos los equipos y softwares que han contribuido a la estimación de los componentes y diversas características propias del smog (Ali et al., 2021). De modo que, todos los factores estudiados traen consigo efectos adversos en la contaminación ambiental y en la salud del hombre con el aumento considerable de enfermedades pulmonares, respiratorias, enfermedades de la piel, etc. (Giroto et al., 2019).

En cuanto a los modelos para la medición y estudio del smog fotoquímico, durante la búsqueda de información, se hallaron diversos tipos dentro de los 80 artículos analizados, donde dichos modelos han sido subcategorizados entre softwares y equipos y han sido empleados en diferentes investigaciones a nivel global que han avalado la eficacia de los mismos. Los autores han afirmado que el uso de los modelos posibilita el capturar los ciclos diarios de los componentes químicos, la presencia de estos a causa de su emisión en diversas fuentes y su reacción ante las condiciones meteorológicas (Belis et al., 2019). No obstante, ciertos autores manifiestan que se requieren estudios más minuciosos respecto a la eficiencia de los modelos, ya que algunos demandan de tiempos prolongados y de más recursos, lo cual limita la gestión apropiada de la calidad del aire (Thind et al., 2022). De tal manera que, en base a estos hallazgos y con la realización de la investigación se intenta cubrir los espacios encontrados.

En relación a las limitaciones de la investigación, es posible afirmar que el estudio de los modelos de predicción del smog fotoquímico, las diferentes categorías y

efectos tanto en la salud de las personas, como en la agricultura, turismo y economía, se encuentran dispersos, obstaculizando a los investigadores la obtención de artículos científicos que contengan la totalidad de las categorías, es así que se visualizó la necesidad de contar con un informe más integrado y actualizado que favorezca a incrementar el conocimiento de las últimas tendencias de la investigación. Por consiguiente, se ha considerado pertinente efectuar una agrupación de toda la información asociada a los modelos de predicción del smog fotoquímico y los enfoques utilizados en las metodologías de medición de sus precursores.

Por otro lado, cabe mencionar que el Perú tiene el puesto 21, en lo que respecta a la calidad del aire reflejando así que el país cuenta con impresionantes índices en lo que concierne a la contaminación del aire a nivel mundial, de igual manera, el mismo reporte ha establecido que la ciudad de Lima se encuentra en alerta amarilla, debido a la gran cantidad de componentes que se encuentran suspendidos en el aire y originan problemas de salud (Greenpeace International, 2019).

Igualmente, ante la problemática que presenta el país en lo que refiere a la contaminación ambiental, existen organismos como el MINAM que con el desarrollo de sus funciones pretende conservar la calidad ambiental en beneficio de la comunidad, no obstante, a pesar de los esfuerzos realizados se puede observar con los datos expuestos en el párrafo anterior, que las acciones ejecutadas son deficientes y esto se debe principalmente a la falta de concientización de la población y al poco involucramiento de las empresas que son las principales causantes de este problema (Manrique, 2019).

Frente a la problemática expuesta, se realizó una revisión sistemática con la finalidad de llegar a poner en evidencia los efectos que presenta el smog fotoquímico en el ambiente. En tal sentido, el interés de los investigadores ha estado centrado en realizar un estudio respecto a las diferentes categorías del smog fotoquímico relacionadas a los componentes químicos primarios y secundarios, los factores meteorológicos y fuentes que originan el smog y los modelos que contribuyen en su medición, donde dichas categorías requieren ser agrupadas con el fin de que pueda servir como precedente para futuros investigadores, quienes contarán con una visión más completa del tema en estudio.

Asimismo, la investigación presentó una **justificación desde un ámbito económico**, en vista de que los estudios analizados han corroborado que el smog también perjudica la salud de la población y sobre todo la economía, ya que genera una cuantiosa reducción sobre el rendimiento de los cultivos, con el desarrollo de la presente investigación se pretende brindar un aporte teórico que posibilite que futuras indagaciones planteen estrategias para contrarrestar los perjuicios a los que conlleva la presencia del smog fotoquímico y así mejorar la gestión de la calidad del aire.

De igual manera, se contó con una **justificación metodológica**, en cuanto la investigación se ha basado en la revisión de artículos científicos indexados, los mismos que han sido realizados por la comunidad científica a nivel internacional. De modo que, todos los artículos han contribuido para incrementar el nivel de nociones respecto a las variables de estudio. Desde ese marco, la metodología empleada correspondió a la revisión bibliográfica, la cual contribuyó a darle respuesta a cada uno de los objetivos del estudio.

Por otro lado, la investigación tuvo una **justificación práctica**, ya que la amplia información recolectada en ella sirve como base para que otras organizaciones puedan plantear y poner en marcha diferentes estrategias que posibiliten reducir el impacto ambiental originado por el desarrollo de sus actividades y de esta manera beneficiar no solo al medio ambiente sino a toda la sociedad.

En lo que concierne a la **justificación ambiental**, la investigación cuenta con las diferentes orientaciones respecto a los impactos que tienden a generar los diferentes precursores del smog fotoquímico sobre la calidad del aire. Asimismo, se pretende incrementar los conocimientos sobre cuán perjudicial resulta ser el smog fotoquímico en el ambiente, de forma que la sociedad, empresas y organismos públicos realicen acciones que permitan disminuir los niveles de contaminación.

En base a la exposición planeada, se contó con el siguiente problema de investigación general

PG. ¿Cuáles son los modelos de predicción de smog fotoquímico en el ambiente en la actualidad?, y como problemas específicos:

P.E.1: ¿Cuáles son los componentes que forman el smog fotoquímico?

P.E.2: ¿Qué factores meteorológicos intervienen en la formación del smog fotoquímico?

P.E.3: ¿Cuáles son las principales fuentes de generación del smog fotoquímico?

P.E.4: ¿Qué tipos de modelos existen para estudiar al smog fotoquímico?

De acuerdo con lo establecido, se planteó como objetivo principal: Evaluar los modelos de predicción de smog fotoquímico en el ambiente en la actualidad, como

OE1: Analizar los efectos de los componentes primarios y secundarios del smog fotoquímico,

OE2: Analizar los factores meteorológicos que intervienen en la formación del smog fotoquímico

OE3: Analizar las principales fuentes de generación del smog fotoquímico,

OE4: Analizar los diferentes tipos de modelos que hay para estudiar el smog fotoquímico.

II. MARCO TEÓRICO

Los componentes químicos primarios vienen a ser aquellos componentes los cuales componen y forman el smog fotoquímico, entre los cuales se encuentran los componentes orgánicos volátiles, el NO_x y el NO, donde estos vienen hacer contaminantes, que contribuyen a la formación del smog (Álvarez y Mallqui 2019). Del mismo modo, el (COV), es un componente el cual viene a ser los hidrocarburos lo cuales se presentan en estado gaseoso a temperatura ambiente normal o también que son muy sutiles a dichas temperaturas, el NO_x, es otro componte el cual viene a ser una sustancia de color amarilla y se origina mediante los procesos de combustión en las plantas eléctricas o en vehículos motorizados y el (NO₂), es otro componente químico, el cual está compuesto por varios elementos, siendo los principales el oxígeno y el nitrógeno (Shangzhi et al., 2021).

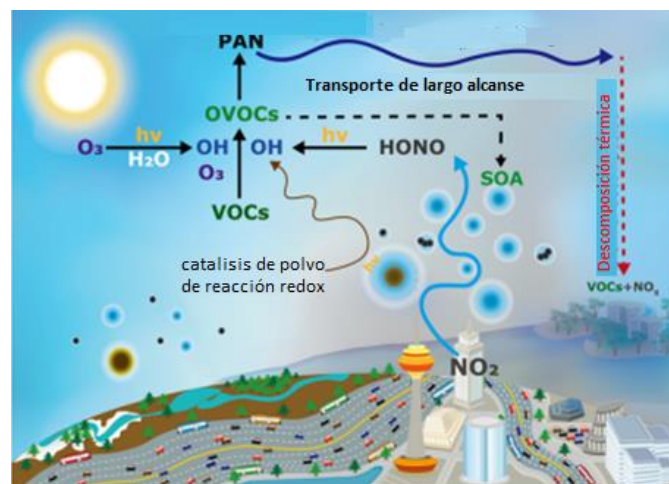


Figura 1. Componentes del smog fotoquímico. Fuente: Xu et al., (2021).

Álvarez y Mallqui (2019), examinaron las concentraciones de benceno presente en asentamientos humanos cercanos a una refinería, durante el año 2019, donde durante el estudio encontraron que, que las concentraciones de barlovento fueron de 0.0259 ug/m³ mientras la de sotavento fue de 0.0247 ug/m³. Por ello, en su investigación llegaron a concluir que, las concentraciones de contaminantes no han superado significativamente los límites máximos permisibles señalados en el reglamento nacional. Mientras que, en el estudio de Fengle (2020), plantearon estudiar en COV en actividades de procesos industriales, durante el año 2020, donde en sus resultados observaron que, los COV presentaron una actividad

fotoquímica, y estos al ser mezclados con óxidos de nitrógeno producen contaminación de ozono, siendo nocivo para el medio ambiente y la salud, también identificaron que los COV son liberados por medio de la quema de combustibles o a causa de los productos utilizados durante los procesos industriales. Además, sus concentraciones son obtenidas por los modelos de medición de calidad del aire, donde concluyeron que, las partículas generadas de COV, contribuyeron a aumentar la contaminación del aire.

En lo que refiere a los componentes secundarios que conforman el smog fotoquímico, estos son el SOA (Aerosoles orgánicos secundarios), el CO, el PM_{2.5} y el O₃ (Wang et al., 2021). Asimismo, las sustancias que acaban con la capa de ozono (SAO), vienen a ser los componentes que se encuentran en el aire, el cual genera efectos y consecuencias directas en la salud del ser humano (Khan et al., 2022). Además, el monóxido de carbono (CO), viene a ser un gas incoloro, este se encuentra en el aire, el cual se origina por la combustión completa incompleta del carbón (Hembeck et al., 2019). Es decir, este gas se genera por cualquier material que contenga carbono. Por otro lado, la PM_{2.5}, son minúsculas partículas las cuales se encuentran suspendidas en el aire, suelen medir menos de 2.5 micras, asimismo, estas partículas las cuales pueden atravesar la barrera pulmonar y lograr entrar así al sistema sanguíneo (Chen et al., 2020).

Mircea et al. (2019), analizaron los aerosoles SOA, que aumentan el smog fotoquímico durante el periodo del 2019, donde identificaron que todos los modelos alcanzan a capturar significativamente los ciclos diarios de SOA durante las diferentes estaciones, más aún por la resolución espacial empleada durante las simulaciones, también observaron que, el origen de SOA se da mediante procesos en la atmósfera, y son producidos por reacciones homogéneas y heterogéneas y envejecimiento de aerosoles primarios de la atmósfera, por ello, llegaron a concluir que, estos componentes generan impacto en las modificaciones de las propiedades de la calidad de aire y en las nubes. Asimismo, Chen et al., (2020), examinaron qué contaminantes se redujeron durante la pandemia, donde examinaron que durante el periodo de la pandemia se disminuyó considerablemente la concentración de componentes químicos, entre ellos el CO, habiendo sido determinado mediante los modelos CTM y CAMx, por ello, concluyeron en su investigación que, la calidad de

aire mejoró debido a la reducción de gases por la suspensión de actividades de la sociedad.

De otro modo, los factores meteorológicos suelen ser aquellos agentes los cuales intervienen en la atmósfera; además, hacen referencia a la combinación de los diversos elementos o parámetros que denominan al clima, es decir, es el conjunto de componentes los cuales caracterizan el tiempo atmosférico, además que factores interactúan entre sí, así como también en las capas inferiores de la atmósfera (Carmona et al., 2019). Los factores influyentes que intervienen en la formación del smog fotoquímico son: humedad relativa, temperatura y los rayos UV, asimismo, temperatura, es la magnitud de energía calorífica que presenta el aire en un determinado momento, además este factor se mide mediante el termómetro (Morawska et al., 2021). Por otro lado, la humedad relativa, viene a ser la relación entre la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura establecida y la presión parcial del vapor de agua, es decir, esta humedad depende de la temperatura y la presión del sistema de interés y los rayos UV, o también denominada radiación ultravioleta (UV), hace referencia a la manera de radiación no ionizante, la cual es emitida por el sol y las fuentes artificiales como es el caso de las camas bronceadoras (Morawska et al., 2021).

Zoran et al. (2020), analizaron las concentración de O₃ el aire, donde encontraron que, las concentraciones medias diarias de O₃ en la superficie del aire equivalentes a 25.27 µg/m³ (media), argumentaron este es un gas frecuente en la estratosfera y a nivel del suelo, el primero es bueno por ser una barrera para los rayos UV, mientras el segundo es contaminante secundario provocado por reacciones fotoquímicas que implican radiación solar y precursores del ozono, donde concluyeron que, las concentración de O₃ el aire, es uno de los contaminantes que inciden a la generación de smog fotoquímico. Igualmente, Pan et al. (2019), cuantificar los impactos del cambio de emisiones de partículas finas sobre la calidad del aire, así como en la salud, haciendo uso del modelo WRF y CMAQ para cuantificar los impactos del cambio de emisiones de partículas finas sobre la calidad del aire, donde observaron que, las reducciones de las concentraciones de PM_{2.5} fueron logradas en el país de EE.UU y los valores fueron equivalentes a 1–1.5

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, donde concluyeron que, el factor que contribuyó a estos resultados fue vinculado a las temperaturas de la zona evaluada.

Además, la velocidad del viento viene a ser el movimiento del aire en la atmósfera, el cual se desplaza desde las zonas con presiones altas hacia las bajas (Yu et al., 2021). Por ello, este movimiento, en meteorología se mide la dirección y la velocidad de su componente en lo que respecta al plano horizontal y en lo que refiere a la dirección, esta se mide a través de una veleta, esta indica si viene del norte, nordeste, etc., y la velocidad con el anemómetro (Fukunaga et al., 2021). Por ello, es que la dirección mide la componente horizontal con respecto a la velocidad del viento, es decir, es el punto desde cuando sopla el viento (Nordelof et al., 2019).

Referente a los factores meteorológicos, Quoc et al. (2019). Analizaron la aplicación de un modelo de contaminación alcanzado a través de la modelación fotoquímica, asimismo, observaron que la evaluación de datos meteorológicos mostró una simulación de un periodo equivalente a un mes y mediante una estación seca, exponiendo la alta calidad de la información recuperada, y se concluyó que el equipo analizado o el modelo de medición fue una herramienta prometedora para el estudio de los escenarios de emisiones de smog en ciudades. Del mismo modo, Yonghua et al. (2019). Evaluaron las concentraciones del componente $\text{PM}_{2.5}$ en Nueva York, además, observaron que durante los días más cálidos y húmedos de la ciudad y con ayuda del modelo CMAQ, se evidenció el aumento de partículas finas como consecuencia de la reacción de oxidación fotoquímica, concluyendo que las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ se acrecentaron de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual tiende a generar impactos negativos en la salud de la población.



Figura 2. Factores meteorológicos que inciden en la concentración de PM_{2.5}.
Fuente: Chen et al. (2020)

De forma similar, en lo que respecta a las fuentes generadoras del smog fotoquímico, estas están: las industrias, los vehículos y la biomasa, estas fuentes suelen presentarse mayormente en zonas con bastante población y en las cuales hay bastante presencia de vehículos o industrias, por lo cual, es observado a simple vista como una nube de color marrón, la cual suele apreciarse durante la mañana o tarde (Jarczewski et al., 2020). La industria a lo largo de los años ha permitido el incremento de la contaminación a causa de las diferentes actividades de comercio y transformación de materias primas (Ronkko et al., 2018). En lo que refiere a la contaminación vehicular, esta consiste en la contaminación urbana, la misma que es originada en los núcleos urbanos donde hay bastante presencia de vehículos, los mismo que son utilizados de manera diaria como elemento para la movilización de personas y en lo que concierne a la biomasa, esta viene a ser la cantidad de productos los cuales son resultado de la fotosíntesis, estos son susceptibles de transformarse en combustible vital para el hombre (Kibangou et al., 2021).

Chang et al. (2020). Evaluaron la calidad del aire causada por la industria de construcción, referente al período 2020, donde observaron que, el modelo STIRPAT y el modelo espacial DURBIN fueron eficientes para la determinación de contaminantes en el aire, igualmente, donde en su investigación llegaron a concluir que, la industria de la construcción en las diferentes ciudades incide considerablemente en el aumento de concentraciones de contaminantes. Mientras

que, Shehzadi et al. (2021), examinaron cuales son las fuentes contaminantes halladas en el aire, donde identificaron que las fuentes de liberación de contaminantes fueron actividades que originan polvo, industrias, quema de material biogénico, entre otras, también que, los valores hallados se encontraron por debajo de estándares en el aire, esto se debió al tipo de combustible y a las altas concentraciones de partículas, además, se evaluó los precursores del smog con el modelo CMAQ, encontrando valores de $PM_{2.5}$ de $10.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $176 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO alcanzó $04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respecto al NO_2 se obtuvo el $9.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$, donde concluyeron que, las quemas, las actividades industriales y el material biogénico, son las fuentes contaminantes con mayor frecuencia en el aire.

Asimismo, según Nguyen y Thi (2021) manifestó que existen diferentes tipos y modelos de Softwares los cuales permiten evaluar y medir el smog fotoquímico que hay en las diversas capas bajas de atmósfera, entre los principales modelos están: el modelo de transporte químico de contaminación del aire (TAPM-CTM), el modelo WRF-CAMx, el modelo EGARCH, el sistema de modelado CMAQ y CAMx así como también el modelo (DBN-BP), entre otros. Estos modelos, contribuyen a examinar cuál es el nivel de smog fotoquímico en el ambiente (Masao et al., 2021). Por otro lado, en lo que refiere a los equipos, hay diversos dispositivos que sirven y son de ayuda para medir la contaminación atmosférica, entre los cuales están: la cámara de reactor dual, la cámara de aditivos generados, una cámara de smog de simulación atmosférica al aire libre a gran escala, entre otros; estos equipos permiten la medición de la contaminación (Junling et al, 2021).

Bang et al. (2018), indicaron que el modelo TAPM-CTM involucró un componente meteorológico de pronóstico, así como un componente fotoquímico, que posibilitó el estudio de calidad del aire y el alcance de contaminación, asimismo, este modelo proporcionó diversos tipos de emisiones de los contaminantes, de modo que estos son utilizados como entrada para el modelo, además, los resultados demostraron que este modelo es apropiado para contar con una simulación del proceso fotoquímico para una cuenca atmosférica en un tiempo establecido.

Ecuación 2. Modelo de transporte químico de contaminación del aire. Fuente: Bang et al. (2018)

$$c = \frac{Q}{2\pi * \sigma_y * \sigma_z * u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_x}\right)^2} \left\{ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_x}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_x}\right)^2} \right\}$$

Donde:

- U : velocidad del viento
- Q : flujo masico de constante I
- H : altura efectiva de chimenea
- Z : altura de los receptores

σ_y y σ_z : Coeficiente de dispersión (en las direcciones y y z respectivamente)

Nguyen y Thi (2020), han señalado que el PM o PM_{2.5} son contaminantes del aire, a los cuales se les otorga mayor atención por sus efectos perjudiciales en la salud y para el ecosistema. Asimismo, establecieron que el tráfico vehicular en las ciudades es la principal fuente que originan PM y más contaminantes, también hicieron uso de los modelos WRF que es un modelo meteorológico y el modelo camx que es fotoquímico, indicaron que el primer modelo se diseñó para la ejecución de indagaciones atmosférica y para la predicción (temperatura, vapor de agua, velocidad, dirección de viento, etc.), mientras el segundo modelo favorece a la identificación de la calidad de aire.

Ecuación 2. Modelo GAM. Fuente: HOU Y XU (2022).

$$g(E(Y)) = \beta_0 + \sum_{j=1}^n s_j(x_{ij}) + \varepsilon_j$$

Donde g es la función de enlace, E (Y) es la esperanza matemática de Y, β_0 es el intercepto, $s_j(x_{ij})$ es la función suave del i-ésimo valor de la covariable j, n es el número total de covariables y ε_j es la término de error aleatorio. En este estudio, la concentración de cuatro contaminantes atmosféricos obedece aproximadamente a la distribución normal, y la función de enlace es un enlace de identidad HOU Y XU (2022).

Yang y Lung (2021), han manifestado que los COV son sustancias químicas que son liberados a partir de material solido o líquido en forma de gas y son los

principales causantes de la formación de partículas y también del ozono, los mismos que originan el smog fotoquímico, igualmente, señalaron que la aplicación del modelo EGARCH permite predecir las varianzas condicionales a través de la inclusión de variables ficticias, de modo que, el modelo fue considerado idóneo por su misma capacidad de predicción al evaluar contaminantes presentes en el aire.

Ecuación 3. Modelo VARMA-EGARCH. Fuente: Yang y Lung (2021)

$$\phi(B)Z_t = C + \theta(B)a_t \quad (1)$$

En el cual:

$$\phi(B) = I - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p \quad (2)$$

$$\theta(B) = I - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q \quad (3)$$

En los análisis de series de tiempo vectoriales, además de la regresión entre variables, la retroalimentación y la diferencia de tiempo entre variables se consideran e incluyen en los análisis como parámetros ponderados. Por lo tanto, esta retroalimentación es efectiva para desarrollar la relación dinámica entre las variables y mejorar la precisión de la predicción del modelo de series de tiempo [19,20]. Las ecuaciones (2) y (3) son polinomios de B; $\phi(B)$ y $\theta(B)$ son matrices $K \times K$; C es un vector $K \times 1$ con valores fijos; a_t es una serie de vectores de vibración aleatorios independientes con distribuciones normales Yang y Lung (2021).

Wang et al. (2021), indicaron que el modelo CMAQ fue un sistema de transporte y también de química atmosférica tridimensional que posibilitaron el simular el material particulado, además de los contaminantes tóxicos que se encuentran en el aire.

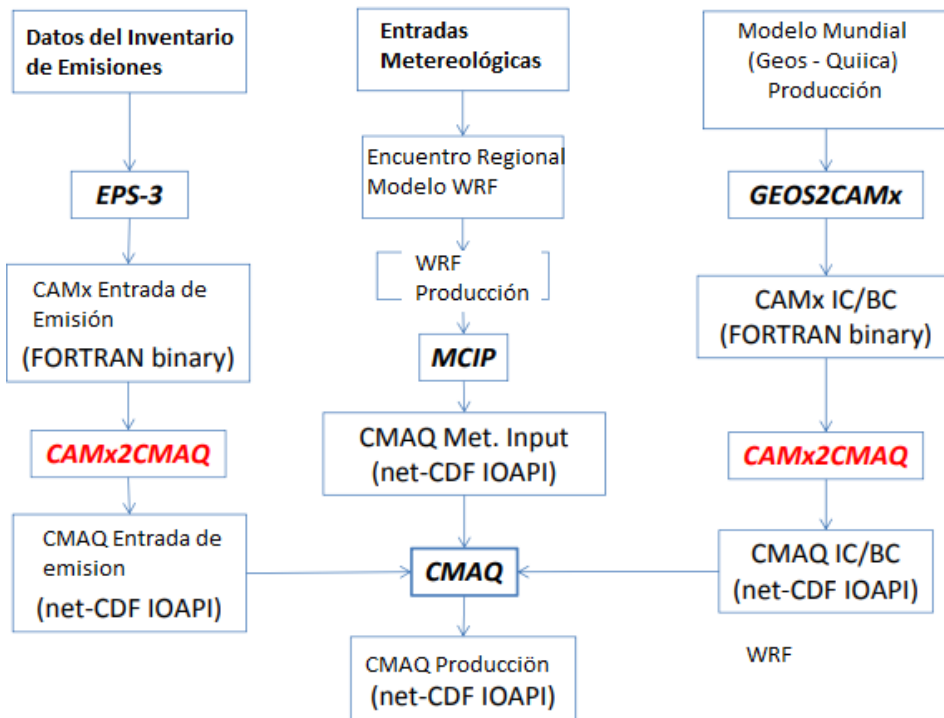


Figura 3. Sistemas de modelado CMAQ y CAMx. Fuente: Wang et al. (2021)

Jiawei et al. (2022), manifestaron que el modelo DBN-BP fue indispensable para la obtención de datos precisos respecto a la predicción de neblina, cuenta con mayor rendimiento sobre predicción en general, aun cuando las concentraciones son elevadas.

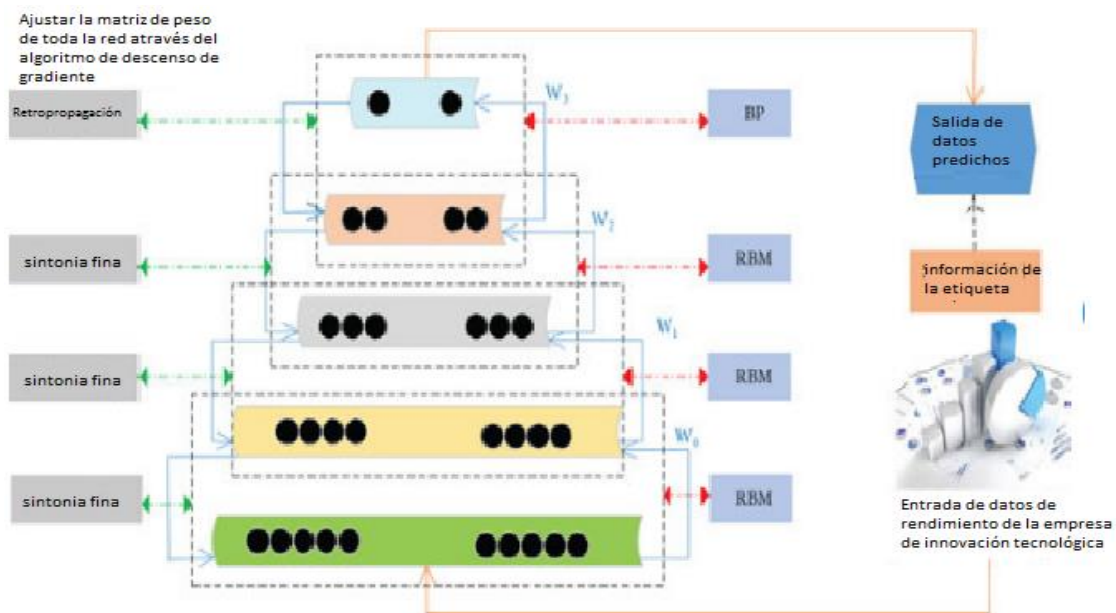


Figura 4. Modelo (DBN-BP). Fuente: Jiawei et al. (2022)

Mientras que, Flores (2020), realizó un análisis comparativo de métodos de estimación de emisiones vehiculares y su incidencia en la generación de smog fotoquímico, donde evidenció que el software de modelado CMEM presentó mayor precisión y puso en evidencia a ciclos de aceleración y desaceleración, igualmente, llegando a concluir que, en el ámbito urbano, el parque automotor ha generado afectaciones significativas a la calidad de vida de la población. En cuanto a los equipos que favorecen la medición del smog fotoquímico, Hou y Xu (2022), analizaron la viabilidad del modelo aditivo generalizado, los resultados demostraron que el mencionado modelo junto a los efectos marginales resulta ser prometedor para llevar a cabo un análisis cuantitativo, además, concluyeron que este modelo contribuye significativamente en la evaluación de la incidencia de los factores meteorológicos sobre los niveles de contaminación del aire.

Por otro lado, teóricamente según Nightingale en el año de 1859 fundamentó la Teoría Ambiental, en la cual conceptualizó que, el ambiente viene a ser el entorno al cual están expuestos todos los seres vivos, por ello, este es un espacio el cual permite el desarrollo de muchos organismos y el intercambio entre ellos. Sin embargo, muchos de estos están expuestos a diferentes contaminantes que afectan no solo la salud de los seres vivos sino también afecta el ecosistema y al planeta en general (Pereira, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

En cuanto al tipo de investigación, se contó con un tipo de indagación básica debido a que se buscó la generación de un nuevo conocimiento centrado en la evaluación de los modelos de predicción de smog fotoquímico, en coherencia con la inspección de diferentes documentos de condición técnica y científica. Hernández et al. (2018), lo define como aquella investigación que toma como referencia a la evaluación de un determinado objeto de estudio con la intención de exponer un mayoritario conocimiento basado en la evaluación de un hecho en específico.

Así mismo, se contó con un diseño de estudio no experimental, longitudinal y descriptivo, en donde se consideró como no experimental debido a que la realidad sobre la que se ha desarrollado la variable de estudio no se modificó en ningún momento, sino que se mantuvo inalterable en todo el proceso de inspección. Además, se consideró como longitudinal debido a que se tomó como referencia un total de 5 años de recolección de información, tomando como referencia a la variable "Modelos de predicción de Smog fotoquímico". Mientras que, se alcanzó a mantener un diseño descriptivo debido a que se intentó caracterizar cada una de las subcategorías que han representado a la variable de análisis (Hernández et al., 2018).

3.2. Categorización y matriz de categorización

En cuanto a la categorización de la investigación, se contó con la siguiente representación de información:

Tabla 1. Matriz de categorización

Objetivos	Problemas	Categorías	Subcategorías	Unidad de análisis	
Analizar los componentes que forman el smog fotoquímico	¿Cuáles son los componentes que forman el smog fotoquímico?	Componentes químicos	Primarios	COV (Componentes orgánicos volátiles)	1. Gautam et al. (2020) 2. Fukusaki et al. (2021). 3. Fenglei et al. (2020) 4. Nihal et al. (2021).
				NOx	5. Manchanda et al. (2021) 6. Synak et al. (2021) 7. Shote et al. (2019) 8. Young et al. (2019).
				(NO ₂)	9. Pepe et al. (2019) 10. Shahrokhishahraki et al. (2022) 11. Prearrastre et al. (2019). 12. Salthammer et al. (2018).
			Secundarios	SOA (Aerosoles orgánicos secundarios)	13. Mircea et al. (2019) 14. Chen et al. (2019) 15. Kang et al. (2022)
				CO	16. Chen et al. (2020) 17. Slorach et al. (2019). 18. Sangkham et al. (2021)
				PM _{2,5}	19. Karhonen et al. (2021) 20. Chen et al. (2020) 21. Thunis et al. (2019) 22. Belis et al. (2019) 23. Thind et al. (2022) 24. Meskhidze et al. (2021) 25. Liu et al. (2020) 26. Chen et al. (2020) 27. Chen et al. (2020)

					28. Shon et al. (2020)
				O ₃	29. Dunker et al. (2022) 30. Ram y Niharika (2021) 31. Makarova et al. (2021) 32. Zoran et al. (2020) 33. Percivalle et al. (2021) 34. Fuks et al. (2019)
Analizar los factores meteorológicos que intervienen en la formación del smog fotoquímico	¿Qué factores meteorológicos intervienen en la formación del smog fotoquímico?	Factores meteorológicos	Influencia	Humedad relativa	35. Fanizza et al. (2018).
				Temperatura	36. Pan et al. (2019) 37. Yonghua et al. (2019) 38. Ulutas et al. (2021) 39. Morawska et al. (2021)
				Rayos UV	40. Jarczewski et al. (2022) 41. Gautam et al. (2020) 42. Rumayor et al. (2022) 43. Abdul et al. (2018).
				Dirección del viento	44. Kajino et al. (2021). 45. Fukunaga et al. (2021).
				Velocidad del viento	46. Nordelof et al. (2019).
				Presión atmosférica	47. Czerwinska y Wielgosinski (2020).
Analizar las principales fuentes de generación del smog fotoquímico	¿Cuáles son las principales fuentes de generación del smog fotoquímico?	Fuentes	Industria	48. Gao et al. (2018) 49. Lariato et al. (2018) 50. Jiayu et al. (2020) 51. Sun et al. (2021)	
			Vehicular	52. Schmidt et al. (2018) 53. Kibangou et al. (2021) 54. Ronkko et al. (2018) 55. Maia et al. (2020) 56. Belis et al. (2020) 57. Jiang et al. (2020) 58. Zohdirad et al. (2022)	
			Biomasa	59. Spiro et al. (2021). 60. Shehzadi et al. (2021). 61. Absurrahman et al. (2020)	

				62.Zhang et al. (2021)
<p>Analizar los diferentes tipos de modelos que hay para estudiar el smog fotoquímico</p> <p>¿Qué tipos de modelos existen para estudiar al smog fotoquímico?</p> <p>Modelos</p>				<p>Modelo de transporte químico de contaminación del aire (TAPM-CTM)</p> <p>63.Bang et al. (2018).</p>
				<p>Modelo WRF-CAMx</p> <p>64.Nguyen y Thi (2020). 65.Muhammad (2019). 66.Ali et al. (2021) 67.Yang et al. (2019) 68.Cheng et al. (2022) 69.Itahashi et al. (2021)</p>
				<p>Modelo EGARCH</p> <p>70. Yang y Lung (2021).</p>
				<p>Sistemas de modelado CMAQ y CAMx</p> <p>71.Wang et al. (2021). 72.Hembeck et al. (2019). 73.Xiaoju et al. (2021). 74.Raj (2021) 75.Gronoff et al. (2019)</p>
				<p>Modelo (DBN-BP)</p> <p>76.Jiawei et al. (2022).</p>
				<p>Cámara de reactor dual</p> <p>77.Luo et al. (2020).</p>
				<p>Cámara de aditivos generados</p> <p>78.Hou y Xu (2022). 79.Jianbo et al. (2019).</p>
				<p>Una cámara de smog de simulación atmosférica al aire libre a gran escala</p> <p>80.Junling et al. (2021).</p>

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

En cuanto al escenario de estudio, este correspondió a estar representado por todas aquellas investigadoras que lleguen a poner en evidencia la caracterización al “Smog fotoquímico”. Hernández et al. (2018), señala que el escenario de estudio viene a estar representado como aquel medio de evaluación en donde se desarrolla el estudio o la recolección de la información.

3.4. Participantes

En cuanto a los participantes de la investigación, se evidenció un total de 80 artículos de investigación científica, habiendo considerado estos en referencia al nivel de importancia de estos.

Tabla 2 *Búsqueda de base de datos*

Base de datos	Artículos encontrados	Artículos seleccionados
Scopus	67	12
Web of science	24	22
Science Direct	102	43
Scielo	32	3

Fuente: Elaboración propia

Inclusión:

En relación con los criterios de inclusión, se puso en evidencia la existencia de tres elementos de alta importancia, en donde se contó con los siguientes criterios: revistas, temporalidad y objeto de estudio. Así mismo, en cuanto a la revista se contó con la consideración de revistas científicas que se han publicado en las siguientes bases de datos: Scopus, Web of science, Science Direct y Scielo. Además, se contó con la selección de investigaciones que únicamente contaron con un periodo de antigüedad, no más de 5 años de publicación. Mientras que, en cuanto al objeto de estudio, se contó con la evaluación de los efectos del smog fotoquímico y demás relacionados.

Exclusión:

En relación con los criterios de exclusión, no se consideraron aquellas investigaciones que han contado con un periodo de publicación mayor a 5 años de antigüedad; así como, aquellas que no se han visto relacionadas con el término de búsqueda principal “Modelos de predicción de Smog Fotoquímico”. Mientras que, se descartaron aquellas que no formaron parte de la siguiente base de datos Scopus, Web of science, Science Direct y Scielo.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se empleó para el presente estudio fue la observación, en donde Hernández et al. (2018), lo define como aquella técnica que se basa en la inspección de diferentes documentos técnicos o información redactada, con la finalidad de poder exponer un mayoritario conocimiento acerca del elemento de investigación.

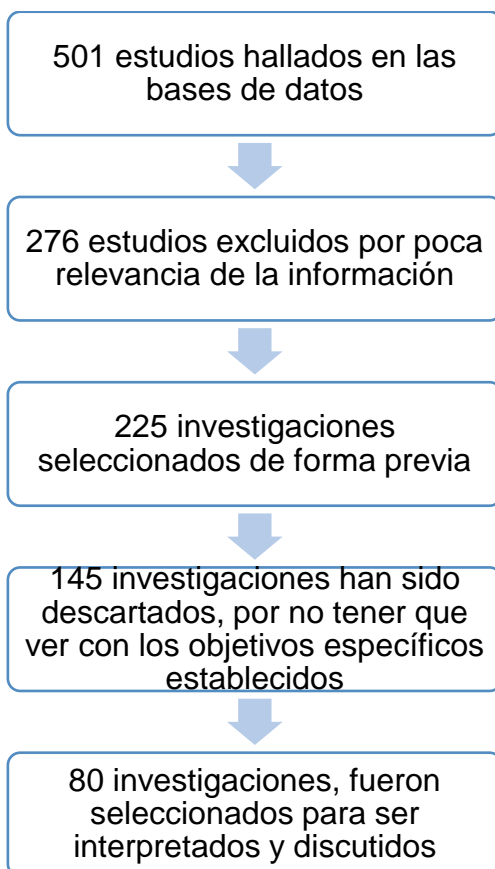
Así mismo, se consideró como instrumento de recolección a la guía de análisis documental o bien comprendida como ficha resumen, en donde se alcanzó a considerar la evaluación de la totalidad de los artículos científicos que se tomaron como referencia para su evaluación y recolección de datos de alta relevancia para ofrecer respuesta a los objetivos de la investigación. Hernández et al. (2018), definen a este instrumento como aquel procedimiento mediante el cual se puede llegar a generar la evaluación y lectura de documentos científicos para obtener información relevante respecto al tema tratado.

En cuanto a los aspectos que se consideraron en la ficha resumen, se consignó información relacionada con el título del artículo, los autores que los han publicado, el año en el que se ha publicado, las características metodológicas, los elementos que se analizaron o bien comprendidos como términos de búsqueda y los principales resultados alcanzados. La ficha resumen se ha recolectado por medio de la inspección de documentos, en donde la revisión sistemática fue la consecuencia de la evaluación de diferentes documentos basados en los componentes que forman el smog fotoquímico, los factores meteorológicos, las fuentes de generación de smog y los modelos de estudio de este.

3.6. Procedimientos

En cuanto al procedimiento que se ha seguido para el desarrollo de la presente investigación, se contó con la evaluación de la base de datos Scopus, mediante la cual se ha podido seleccionar a un total de 80 artículos relacionados con el tema de estudio, para el caso de la base de datos Web of Science, se contó con la selección de 40 artículo relacionado con el tema de investigación, y en el caso de la base de datos Science Direct y Scielo, se alcanzó a recolectar y procesar un total de 23 y17 artículos de investigación respectivamente (Hernández et al., 2018).

Figura 5. Procedimiento de selección, exclusión y número de estudios seleccionados



Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

En cuanto a las revistas en donde se recolectó la información, se pudo consignar a Web of Science, Science Direct y Scielo, en donde las revistas no solo estuvieron centradas en modelos, sino en cada una de las subcategorías y categorías

expuestas en la matriz de categorización, entendiendo que los modelos no pueden ser repetidos por cualquier persona, debido a que se tiene que tener un conocimiento integral acerca de cálculo matemático, análisis por métodos numéricos y conocimiento técnico acerca de ingeniería ambiental, siendo creíbles debido a que estos son empleados alrededor del mundo y se cuenta con fundamento matemático para demostrar su efectividad, sin ser el tema a tratar en el presente estudio.

Los artículos que han sido analizados no solo fueron creíbles por el tipo de revista que validó sus resultados, sino que ello ha correspondido a ser consecuencia de la amplia representación de datos que fue consignada en los mismos para demostrar la efectividad de los modelos empleados, entendiendo que no solo la cantidad llega a ser incidente dentro de este tipo de análisis, sino que ello se ve representado por valoraciones estadísticas y numéricas que delimitan el índice de error alcanzado.

3.8. Método de análisis de datos

Para la realización del trabajo de investigación se realizó la búsqueda de las categorías y subcategorías con respecto al problema a investigar los cuales fueron: componentes químicos a.-primarios (COV, NOx y NO₂) b.- secundarios (dióxido de nitrógeno (NO₂), SOA (aerosoles orgánicos secundarios, CO, PM_{2.5}, O₃), factores meteorológicos (Presión atmosférica, Temperatura, Velocidad del viento, Dirección del viento, Humedad relativa), luz solar (rayos UV), fuentes (industria, vehicular y biomasa), Modelos (Modelo de transporte químico de contaminación del aire (TAPM-CTM), Modelo WRF-CAMx, Modelo EGARCH, Una cámara de smog de simulación atmosférica al aire libre a gran escala, Sistemas de modelado CMAQ y CAMx, Cámara de reactor dual, Cámara de aditivos generados, Modelo (DBN-BP)). Luego se realizó la búsqueda de información con respecto a dichos temas.

El análisis de la información se realizó por medio de la evaluación de cada artículo de investigación consignado, en donde se expusieron datos e información comparativa respecto a los mismos, por medio de los autores que han validado la veracidad y responsabilidad de publicación de la información, entendiendo que ello corresponde al método inductivo, en donde a consecuencia de un análisis mediante el cual la exposición de una serie de premisas llega a aportar significativamente

hacia la generación de conocimiento, pero no llegan a apoyar a la conclusión de forma íntegra, debido a una falta de validación propia por métodos prácticos.

3.9. Aspectos éticos

El trabajo de investigación se realizó con información recuperada de revistas reconocidas a nivel mundial, que se indexan en base de datos muy confiables como son Scopus, Web Of Science, Ebsco, ScienceDirect, Scielo, respetando en todo momento las citas y referencias bibliográficas, guiándonos de la norma ISO 690 de la Universidad César Vallejo. Los resultados fueron obtenidos de un minucioso estudio que se respaldaron por criterios científicos; además, se desarrolló guiándonos estrictamente de trabajos que antecedieron a esta investigación, desarrollando cada uno de los objetivos planteados, en donde se hizo hincapié hacia el código de ética de la CONCYTEC y la Universidad César Vallejo (Concytec, 2022) (Universidad César Vallejo, 2020).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OE1: Analizar los componentes que forman el smog fotoquímico

Referente a los resultados obtenidos del objetivo específico n° 01 a partir de la revisión sistemática han determinado que los siguientes autores han señalado como componentes químicos primarios a los COV, NO_x y el NO₂. Nihal et al. (2021), afirmaron que los COV tienen composición inherente que los convierte en volátiles ante condiciones estándar tanto de presión como temperatura, además son grandes contaminantes del aire y perjudiciales para la salud humana. Gautam et al. (2020), establecieron que el smog es el resultado de las reacciones existentes de los COV ante los rayos UV, asimismo, los COV figuran la principal fuente de contaminación de aire y se constituyen por más de 120 tipos de gases. Igualmente, Fukusaki et al. (2021), manifestaron que la reactividad fotoquímica hallada en los COV, así como su nivel de concentración obtuvieron una relación significativa sobre el origen del ozono fotoquímico. Por su lado, Synak et al. (2021), manifestaron que los NO_x son originados por las altas presiones y temperaturas, y por la presencia de una combinación de motores de combustión, además los autores señalaron que N₂O y óxido nitroso al ser parte de NO_x agotan la capa de ozono, de manera que los NO conducen al origen de smog fotoquímico y lluvia ácida. Asimismo, Shote et al. (2019), sostuvieron que los NO_x genera perjuicios en la salud, tales como dificultad de respiración, dolor de cabeza, irritación de los ojos, etc.). Además, Salthammer et al. (2018), indicaron que la reacción fotoquímica del NO₂ encaminó a la formación de ozono, además, sus concentraciones estuvieron sujetas al volumen de tráfico y otras sustancias precursoras como hidrocarburos y NO. Pepe et al. (2019), manifestaron que el NO₂ en su mayoría fueron provenientes de las emisiones de los vehículos y por los procesos de combustión antropogénicos frente altas temperaturas y sus concentraciones favorecen al origen del NO₃. En base a lo expuesto, se puede determinar que los COV, NO_x y NO₂ simbolizan los componentes que producen el smog fotoquímico, además conducen a daños como lluvia ácida, calentamiento global y a la contaminación del ambiente, además, generan grandes perjuicios o problemas sobre la salud de las personas tales como los problemas respiratorios.

Por otro lado, los siguientes autores indicaron como componentes químicos secundarios a los SOA, CO, PM_{2.5}, y O₃. Mircea et al. (2019), indicaron que los SOA se generan por procesos en la atmósfera, y por reacciones homogéneas y heterogéneas, provocando impacto en las modificaciones de las propiedades de la calidad de aire, así como en las nubes. Asimismo, Slorach et al. (2019), afirmaron que el smog fotoquímico es producto de la existencia de reactivos, así como productos que se hallan en la atmósfera como CO frente a la presencia de radiación solar, por ello es por lo que el smog fotoquímico es muy frecuente en la temporada de verano. Por su parte, Karhonen et al. (2021), sostuvieron que los PM_{2.5} originan la niebla de smog y las fuentes de su origen son la biomasa, las industrias, no obstante, este componente alcanzó un gran nivel de concentración ante la fuente vehicular. Thind et al. (2022), afirmaron que los PM_{2.5} forman parte de los componentes secundarios que dirigen al smog y es uno de los causantes de los daños producidos en la salud de la población. Igualmente, Dunker et al. (2022), manifestaron que el O₃ en su estudio alcanzó un nivel de concentración de ≥ 65 , además afirmaron que los modelos de medición de calidad del aire reflejaron viabilidad para predecir las concentraciones de este componente. Ram y Niharika (2021), determinaron que el O₃ es el resultado de la interacción existente entre los NO_x y COV, no obstante, los factores meteorológicos pueden dañar la variación del O₃ y de los precursores. A partir de lo expuesto, se deduce que los componentes secundarios son contaminantes que contribuyen a la formación del smog en las ciudades, y por consiguiente disminuyen la calidad del aire, además, estos presentan cuantiosos impactos no solo en el medio ambiente sino en la salud.

Referente a la subcategoría componentes químicos primarios, en la evaluación del COV, los autores Gautam et al. (2020), expusieron que el smog fotoquímico es consecuencia de la reacción de los COV ante la radiación UV, asimismo, afirmaron que estos son contaminantes compuestos por más de 120 tipos de gases que junto con otras sustancias que se hallan en el aire originan reacciones fotoquímicas. Por su parte, Fukusaki et al. (2021), alcanzó muestras de COV recolectadas a una velocidad de flujo de 30 ml/min durante 10 minutos, y sostuvieron que la concentración de COV fue mucho más alta en una ciudad que en otra, por ello, determinaron que tanto la reactividad fotoquímica de COV y niveles de concentración, presentaron una relación significativa en la producción del ozono

fotoquímico. Además, expusieron que aromáticos, alquenos y otros componentes individuales condujeron a la producción del ozono fotoquímico. Además, Nihal et al. (2021), señalaron que los COV cuentan con composición inherente que los convierte en volátiles frente condiciones estándar tanto de presión como temperatura, volviéndose grandes contaminantes. Mientras que, Fenglei et al. (2020), indicaron que los COV al contar con una actividad fotoquímica y combinarse con óxidos de nitrógeno provocan contaminación de ozono, igualmente, se estima que estos son producto de la quema de combustible o de los productos empleados durante las actividades de las industrias.

En la evaluación del componente NO_x , los autores Manchanda et al. (2021), expusieron que con ayuda del modelo CAMx se visualizó la disminución de NO_x en la ciudad de India, no obstante, a pesar de los resultados hallados siguió siendo considerado como una de las causas del origen del smog fotoquímico en la ciudad. De igual manera, Synak et al. (2021), en su estudio obtuvieron concentraciones como 0.03 vol % CO, 0.05 vol % CO_2 , 10 ppm vol. HC, 0.1 vol. O_2 y 32 ppm vol. NO_x , manifestando que los NO_x son producidos por las altas presiones y temperaturas, y por motores de combustión, asimismo señalaron que N_2O y óxido nitroso que son parte de NO_x extinguen la capa de ozono, siendo contribuyentes a la producción de smog fotoquímico y lluvia ácida. Mientras que, Shote et al. (2019), consideraron al NO_x como una de las causas del smog fotoquímico que conlleva a problemas en la salud humana (dificultad de respiración, dolor de cabeza, irritación de los ojos, otros.). Además, Young et al. (2019), afirmaron que el smog fotoquímico es causado por liberación de NO_x .

En lo que concierne a la evaluación del componente NO_2 , los autores Shahrokhi Shahraki et al. (2022), indicaron que el NO_2 es considerado como un elemento que origina el smog fotoquímico en las ciudades y el uso del modelo CMAQ ayudó a capturar mejor el ciclo diurno del componente e incluso en las estaciones más frías. Por su parte, Pepe et al. (2019), expusieron que el NO_2 fue provocado en gran parte por el transporte vehicular y por procesos de combustión a temperatura elevada, además representó mayor contribución para el origen de NO_3 . Asimismo, Prearrastre et al. (2019), obtuvo un valor anual de NO_2 equivalente a $28.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo valores por debajo de los límites de la Normativa nacional e internacional

sobre valores de calidad del aire, por ello, señalaron que el NO₂ es frecuente en la atmósfera y provoca smog fotoquímico, y en elevadas concentraciones dirige a la corrosión del componente eléctrico. Igualmente, Salthammer et al. (2018), consiguió valores de NO₂ de 350 µg/m³ (0.5 h) y 60 µg/m³ (1 semana), señalando que la reacción fotoquímica del mismo forma el ozono, sin embargo, sus concentraciones dependen en gran parte del volumen de tráfico y otras sustancias precursoras (hidrocarburos y NO).

Respecto a la subcategoría componentes químicos secundarios, en la evaluación del componente SOA, los autores Mircea et al. (2019), manifestaron que el modelo empleado, CTM, alcanzó a capturar los ciclos diarios de SOA en distintas estaciones, lo cual se atribuyó a la resolución espacial durante las simulaciones. De igual manera, los autores expusieron que este componente es originado por procesos sobre la atmósfera y por reacciones tanto homogéneas como heterogéneas. Asimismo, Chen et al. (2019), afirmó que existe una cadena larga de alcanos, los mismos que simbolizan entre el 20% al 30% de los SOA, los cuales son derivados de los hidrocarburos antropogénicos.

Referente al componente CO, los autores Chen et al. (2020), expusieron que, durante el periodo de la pandemia por la disminución de gases producto a la paralización de actividades de todas las industrias, se disminuyeron las concentraciones de CO, encaminado a que la calidad del aire presentará mejoras. Slorach et al. (2019), sostuvieron que el smog fotoquímico es producto de la existencia de reactivos y componentes en la atmósfera como CO en presencia de radiación solar, por ello es muy frecuente en la temporada de verano. De igual manera, Sangkham et al. (2021), señalaron que, en la ciudad de Bangkok, uno de los componentes del smog fotoquímico que más predominó fue el CO, alcanzado una concentración de 536.74 µg/m³.

En relación con el componente PM_{2.5}, Karhonen et al. (2021), manifestaron que las concentraciones del componente PM_{2.5} frente a la fuente vehicular y aire libre se elevaron, habiendo obtenido entre el 80% al 84% de exposición a las partículas. Además, Thunis et al. (2019), indicaron que para la medición de las PM_{2.5} fue necesario el uso de los modelos de medición de calidad de aire, lo cual conlleva hacia una adecuada gestión de la calidad del aire. Igualmente, Belis et al. (2019),

estimaron que las concentraciones de PM_{2.5} halladas fueron consecuencia de la producción de energía, así como la actividad agrícola, fuente vehicular y combustión residencial. Por su parte, Chen et al. (2020), determinaron que el PM_{2.5} es un indicador para la evaluación de la incidencia de la urbanización de suelo sobre la contaminación, además, se determinó que su concentración tuvo una sólida tendencia diurna, y durante el día se observó una disminución en zonas urbanas. Asimismo, Thind et al. (2022), sostuvieron que el PM_{2.5} simboliza un componente secundario que produce el smog fotoquímico y es perjudicial para la población. Meskhidze et al. (2021), expusieron que a nivel mundial se vienen realizando esfuerzos para disminuir el nivel de PM_{2.5}. Por otro lado, Liu et al. (2020), señalaron que, en China, el PM_{2.5} fue causante del 9.60% de muertes, además, se afirmó que sus concentraciones son más elevadas durante el invierno. Chen et al. (2020), indicaron la existencia de una influencia positiva entre la temperatura y niveles de PM_{2.5}, igualmente, mencionaron que las altas temperaturas provocaron reacciones fotoquímicas y el origen de más precursores de PM_{2.5}. Shon et al. (2020), expusieron que el PM_{2.5} es originado por el aumento y las actividades de las diversas industrias.

Respecto al componente O₃, Dunker et al. (2022), señalaron que las concentraciones obtenidas fueron de ≥ 65 ppb y el uso de modelos de predicción contribuyeron a predecir su concentración. Igualmente, Ram y Niharika (2021), alcanzó concentración media mensual de O₃ entre 21.000 ± 4.000 ug/m³ en invierno, mientras en verano fue de 34.443 ± 2.503 ug/m³, indicaron que el O₃ es originado por la interacción fotoquímica de COV y NO_x, y señalaron que las condiciones meteorológicas pueden dañar la variación temporal de superficie O₃, así como de los precursores. Desde otra perspectiva, Makarova et al. (2021), indicaron que el ozono troposférico (contaminante secundario) produce impacto en la salud humana y en el medio ambiente, además, sostuvieron que la concentración de ozono troposférico a nivel mundial incrementó de 2 a 4 veces haciendo una comparativa con la era preindustrial. Mientras que, Zoran et al. (2020), consiguieron concentraciones medias diarias de O₃ en la superficie del aire equivalentes a 25.27 ± 15.27 µg/m³, argumentaron este es un gas frecuente en la estratosfera y a nivel del suelo, el primero es bueno por ser una barrera para los rayos UV, mientras el segundo es contaminante secundario provocado por reacciones fotoquímicas que

implican radiación solar y precursores del ozono. Igualmente, Percivalle et al. (2021), afirmaron que el ozono origina el smog fotoquímico, y es un agente oxidante fuerte que reacciona a ciertos compuestos orgánicos. Asimismo, Fuks et al. (2019), revelaron que para que las reacciones del smog fotoquímico creen O₃, deben contener más contaminantes del aire y radiación UV, también afirmaron que, en la noche y con óxido nítrico, el O₃ se descompone de forma rápida.

Tabla 3. Componentes que forman el smog fotoquímico

Ciudad/ País	Autor	Método de Medición/ Concentración
EE.UU.	Gautam et al., 2020.	Se halló que los aromáticos y los alquenos representaron del 66 al 79 % y del 43 al 59 % del potencial total de formación de ozono.
Koteshwor y Sanepa	Fukasaki et al., 2021.	Las muestras de COV se recolectaron a una velocidad de flujo de 30 ml/min durante 10 minutos. Además, se halló que la concentración de COV fue mucho más elevada en la ciudad Koteshwar que en Sanepa. Los alcanos fueron más abundantes en Koteshwor (46-102 ppbv, 28-34%) y Sanepa (12-37 ppbv, 29-32%), seguidos de los alquenos (36-67 ppbv, 12-19%) y aromáticos (29-71 ppbv, 18-22%) en Koteshwor, y aldehídos (5.1-22 ppbv, 12-21%) y alquenos (4.7-22 ppbv, 12-19%) en Sanepa.
India	Fenglei et al., 2020.	Para la evaluación de degradación de COV se recurrió al sistema de reacción de temperatura baja, de modo que para el experimento se ajustó la temperatura a 30°C inyectando tolueno (600ml/min).
India	Nihal et al., 2021.	Se emplearon los modelos de medición del smog fotoquímico, hallando una concentración de COV de 18 µg/m ³ .
India	Manchanda et al., 2021.	Para la distribución de las concentraciones se empleó la factorización de matriz positiva, al igual que los modelos de predicción. La concentración del O ₃ fue semejante a 80 µg/m ³ , mientras que la concentración del NO fue de 50 µg/m ³ .
Canadá	Synak et al., 2021.	La precisión de la medición fue 0.03 vol % CO, 0.05 vol % CO ₂ , 10 ppm vol. HC, 0,1 vol. O ₂ y 32 ppm vol. NOx.
EE.UU.	Shote et al., 2019.	Se halló una concentración de NOx de 25 ppm.
China	Young et al., 2019.	La concentración alcanzada con los modelos de predicción de los contaminantes NO _x y SO ₂ , a 28 ppm.
Milán	Pepe et al., 2019.	El modelo de predicción CAMx, obtuvo la concentración del NO ₂ , el cual alcanzó el 30 ppb.
India	Shahrokhishahraki et al., 2022.	El modelo CMAQ capturó variaciones diurnas de NO ₂ , CO y O ₃ , donde la correlación fue de 0.7 y 0.91, 0.6-0.8 y 0.5-0.9.8 respectivamente, mientras que el sesgo absoluto fue inferior a 69 ppb, 1.15 ppm y 12.5 ppb.
India	Prearrastre et al., 2019.	Valor medio anual de NO ₂ en el campo de investigación fue de 28.23 µg/m ³ . Los resultados obtenidos para NO ₂ estaban por debajo de los límites de la Normativa nacional e internacional sobre valores de calidad del aire.
Alemania	Salthammer et al., 2018.	Los valores de referencia de NO ₂ fueron 350 µg/m ³ (0.5 h) y 60 µg/m ³ (1 semana).
India	Mircea et al., 2019.	Se visualizó que en el modelo CAMx se alcanzó medidas del 30%, y se observó que los sesgos de los modelos variaron de -2.47 µg/m ³ a -0.29 µg/m ³ en el modelo CMAQ.
China	Chen et al., 2019.	Con la aplicación del modelo CMAQ, se visualizó que los rendimientos de SOA, oscilan entre 0.03 y 0.60, mientras que, para naftaleno, fue entre 0.21 y 1.52 para 1-metilnaftaleno y entre 0.34 y 0.55 para 2-metilnaftaleno con niveles altos de NOx.
EE.UU.	Kang et al., 2022.	El intervalo de las variaciones en la concentración del PM fue de 18.8 µg/m ³ - 29.6 µg/m ³ .
China	Chen et al., 2020.	Las concentraciones del CO fueron de 1.8 ppm.
India	Slorach et al., 2019.	La concentración del Co fue semejante a de 1.5 ppm.

Bangkok	Sangkham et al., 2021.	Con el modelo CMAQ, se obtuvo la concentración de CO alcanzó el 536.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Europa	Karhonen et al., 2021.	Se halló una concentración de $\text{PM}_{2.5}$ equivalente a 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asia	Chen et al., 2020.	La concentración del contaminante $\text{PM}_{2.5}$ fue semejante a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asia	Thunis et al., 2019.	Con ayuda del modelo CAMx, respecto al $\text{PM}_{2.5}$, se obtuvo una concentración de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Danubio y Balcanes Occidentales	Belis et al., 2019.	La concentración de $\text{PM}_{2.5}$ fue de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los modelos empleados sugirieron adoptar resolución espacial inferior para conducir a una mejor evaluación de las concentraciones.
EE. UU	Thind et al., 2022.	Con el modelo CTM, se encontró la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en 12.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
India	Meskhidze et al., 2021.	La concentración fue equivalente a 11.9 a 7.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
China	Liu et al., 2020.	Concentración durante el invierno alcanzó un promedio de 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en el verano tuvo un promedio de 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
California	Chen et al., 2020.	Las concentraciones máximas alcanzadas con el modelo WRF y CMAQ fueron de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
China	Chen et al., 2020.	Las concentraciones fueron más altas en Beijing, con un valor semejante a > 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anualmente, y la concentración más baja fue de < 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo esto atribuido a la presencia de industrias en la ciudad.
Corea del Sur	Shon et al., 2020.	Se visualizó que la concentración de $\text{PM}_{2.5}$, del SO_2 y NO_x redujeron en 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8.1 %), 0.7 ppb (11.3 %) y 1.6 ppb (6.1 %), respectivamente.
Texas	Dunker et al., 2022.	Concentraciones equivalentes a ≥ 65 ppb.
Delhi, Northem India	Ram y Niharika, 2021.	La concentración media mensual de O_3 varió de 21.000 ± 4.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en invierno, mientras en verano fue de 34.443 ± 2.503 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
India	Makarova et al., 2021.	La concentración del ozono fue de 0.11 ppm.
Milán	Zoran et al., 2020.	Las concentraciones medias diarias de O_3 en la superficie del aire (25.27 ± 15.27) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, situadas en el rango de (2–56) $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
India	Percivalle et al., 2021.	Las concentraciones halladas se encontraron en 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Alemania	Fuks et al., 2019.	Se encontró una concentración ≥ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fuente: Elaboración propia

OE2: Analizar los factores meteorológicos intervienen en la formación del smog fotoquímico

En lo que concierne al objetivo específico 2, los siguientes autores determinaron los factores meteorológicos implicados en el origen del smog fotoquímico. Czerwinska y Wielgosinski (2020), argumentaron que la concentración de las partículas se redujo con el aumento de temperatura del aire, de igual manera, las concentraciones del componente incrementaron con la presión atmosférica. Desde otro punto de vista, Ulutas et al. (2021), afirmaron que, de acuerdo con las temperaturas de cada una de las estaciones, los niveles de los componentes químicos pueden presentar variaciones, en ese marco, hallaron que los niveles altos de PM y CO se dieron en el otoño, mientras que los niveles elevados de NO, SO y NO_x se reportaron en invierno y el O₃ en verano. Asimismo, Yonghua et al. (2019), mencionaron que las altas concentraciones de ciertos componentes como

PM_{2.5} se generaban durante los días más cálidos y húmedos, lo cual era causado por el factor meteorológico, así como la reacción de oxidación fotoquímica. Nordelof et al. (2019), han señalado que la presencia de smog fotoquímico conduce a la aparición de contaminantes secundarios, también afirmaron que, frente a pocos vientos, la luz solar conduce a que ciertos componentes tengan reacción y provoquen ozono. Por su parte, Fukunaga et al. (2021), manifestaron que la dinámica de sustancias oxidantes sobre la atmósfera, se relacionaron a parámetros meteorológicos tales como la dirección del viento y las temperaturas en el aire. Fanizza et al. (2018), expusieron que los PM_{2.5} son contaminantes del aire que tienen repercusiones nocivas, y estos componentes químicos estuvieron vinculados a factores tales como las concentraciones de precursores y más aún a las condiciones meteorológicas como humedad relativa, la velocidad de viento y lluvia. Igualmente, Gautam et al. (2020), expusieron que el origen del smog oxidante fotoquímico es consecuencia de las reacciones de ciertos componentes químicos con la acción de radiación UV, de modo que se produce la formación de ozono en la troposfera. Jarczewski et al. (2022), argumentaron que el smog fotoquímico al ser impulsado en gran parte por los rayos UV y al ser acelerado por condiciones de calidad tiende a exteriorizar mayor contaminación.

Respecto a la evaluación de la presión atmosférica, los autores Czerwinska y Wielgosinski (2020), establecieron que los elevados niveles de contaminación sobre el aire, durante la estación de invierno fueron producidos principalmente por las partículas suspendidas que son parte del grupo de componentes químicos tóxicos, asociados al smog fotoquímico. No obstante, los autores afirmaron que la concentración de PM es posible disminuirla con el aumento de la temperatura del aire, así como es posible incrementar la concentración con la presión atmosférica.

Referente a la condición meteorológica, temperatura, Fanizza et al. (2018), señalaron que ciertos componentes presentan repercusiones nocivas para la salud, produciendo ciertas patologías en los individuos, además, consideraron que las concentraciones de los diferentes componentes tienden a variar en base a las condiciones meteorológicas como la insolación que dirige a las reacciones químicas de los precursores. Asimismo, Yonghua et al. (2019), indicaron que en días cálidos y húmedos se produjeron más partículas finas por la reacción de oxidación

fotoquímica. Por ende, el calor (temperatura) y contaminación del aire, en la actualidad son considerados como factores estresantes que generan impactos perjudiciales para la sociedad. Además, Pan et al. (2019), afirmaron que las concentraciones alcanzadas de $PM_{2.5}$ se atribuyeron a las temperaturas del área utilizada para efectuar el estudio. Por otro lado, Ulutas et al. (2021), afirmaron que, en base a las temperaturas de cada estación, los niveles de los componentes químicos pueden variar, por lo cual, hallaron que los niveles altos de PM y CO se dieron en el otoño, y los niveles elevados de NO, SO y NO_x se reportaron en invierno y el O₃ en verano. De igual manera, Morawska et al. (2021), indicaron que las elevadas concentraciones de O₃ se dieron en primavera y el verano, por las temperaturas y condiciones meteorológicas favorables. Con relación al factor meteorológico velocidad del viento, los autores Nordelof et al. (2019), expusieron que ante la presencia u origen de smog fotoquímico tienden a aparecer contaminantes secundarios, de modo que los factores meteorológicos asociados a los pocos vientos y luz solar conllevan a que los componentes NO_x y COV tengan reacción y originen ozono. En lo que concierne al factor meteorológico dirección del viento, los investigadores Kajino et al. (2021), afirmaron que tanto las reacciones fotoquímicas, emisiones, así como las diferentes condiciones meteorológicas, entre ellas la velocidad y dirección de viento, perjudican las concentraciones de algunos componentes como del O₃. Fukunaga et al. (2021), argumentaron que la dinámica entre sustancias oxidantes de la atmósfera, se vincularon a parámetros meteorológicos (velocidad, intensidad de rayos UV y dirección del viento, temperaturas en el aire). Asimismo, referente a la evaluación de la humedad relativa, Fanizza et al. (2018), señalaron que el origen de algunos componentes químicos como las $PM_{2.5}$ son dependientes a factores como concentraciones de precursores y a las condiciones meteorológicas como la humedad relativa, velocidad de viento, lluvia, temperatura y otros.

Respecto al factor meteorológico rayos UV, Jarczewski et al. (2022), argumentaron que el smog fotoquímico al ser impulsado por los rayos UV y al ser acelerado por condiciones de calidad representan mayor contaminación. De igual manera, Gautam et al. (2020), sostuvieron que el smog oxidante fotoquímico es causado por reacciones de ciertos componentes químicos con la acción de radiación UV, de modo que producen el ozono en la troposfera. Asimismo, Rumayor et al. (2022),

señalaron que en su investigación observaron que los valores de oxidantes fotoquímicos se elevaron ya que usaron luz solar como fuente de energía foto catalítica. Mientras que, Abdul et al. (2018), afirmaron que los factores meteorológicos favorecen la formación de actividad fotoquímica, además sostuvieron que los niveles de NO y NO₂ se reducen en la tarde debido al aumento de O₃ durante la tarde por niveles de radiación UV, por ende, evidenciaron que las reacciones fotoquímicas fueron influenciadas por la temperatura.

Tabla 4 Factores metereológicos que intervienen en la formación del smog fotoquímico

Ciudad/País	Autor	Método de medición y concentración
Texas	Czerwinska y Wielgosinski, 2020.	Concntraciones cercanas a 45 µg/m ³ se asociaron a temeperaturas frias de -5 a 0 °C, mientras que la presión atmosferica tuvo un comprtamieto inverso.
EE. UU	Pan et al., 2019.	Se halló una reducción de la concentración de PM _{2.5} equivalentes a 1–1.5 µg/m ³ , dicha disminución fue provocada por la temperatura de la zona. Debido a las tempersturas bajas se reduce la concentración de PM 2.5, mientras que en alta humedad y advencion reducida se genera más PM _{2.5} .
EE.UU.	Fanizza et al., 2018.	Las concentraciones fueron PM _{2.5} anual fue de 16 µg/m ³ , y el O ₃ , en el mes de diciembre fue más bajo con 9.6 µg/m ³ , debido al alto consumo de calefacción, y en agosto presentó un mayor nivel de 66 µg/m ³ por la fuerte insolación que provoca el inicio de reacciones químicas entre los precursores.
Nueva York	Yonghua et al., 2019.	Durante los períodos de olas de calor, las proporciones de mezcla de O ₃ del suelo superan el NAAQS con un máximo de 110 ppb en las áreas a favor del viento de la ciudad de Nueva York mientras que las concentraciones de PM _{2.5} en el suelo aumentan de 5 µg/m ³ a 25 µg/m ³ . Un aumento coincidente de los aerosoles de OC y sulfato indica fuerte formación secundaria de aerosoles, con una contribución dominante de MO (52–58 %) al total de PM _{2.5} . Los efectos combinados de lo urbano transporte de contaminantes y la meteorología local pueden ser responsables de la alto nivel de O ₃ en el área suburbana a favor del viento. Diferentes variaciones diurnas de tierra O ₃ y PM _{2.5} se observan, que pueden estar asociados con los efectos de la evolución de los PBLH (variación diurna de la altura de la capa límite planetaria), y su diferente formación y procesos de emisiones.
Ankara	Ulutas et al., 2021.	No hubo correlación estadísticamente significativa entre la temperatura del aire y PM ₁₀ y PM _{2.5} (p> 0.05). SO ₂ , NO ₂ y CO tuvieron correlación significativa débil y negativa con la temperatura (r=-0.399; r=-0.384; r=-0.300; p<0.05), mientras que NO _x tuvo correlación significativa moderada y negativa con la temperatura (r=-0.538; p<0.05). La temperatura tuvo una correlación significativa moderada negativamente con NO _x y positivamente con O ₃ . La temperatura tuvo una buena correlación significativa con NO negativo y con O ₃ positivo (r=-0.693; r=0.752; p<0.05). Al igual que con la temperatura, no hubo relación estadísticamente significativa entre la humedad relativa y PM ₁₀ y PM _{2.5} (p> 0.05). Si bien hubo una relación estadísticamente positiva, muy débil/débilmente significativa entre la humedad relativa y el SO ₂ , NO ₂ y CO (r=0.240; r=0.488; r=0.342; p<0.05), hubo una relación estadísticamente positiva y moderadamente significativa de humedad relativa con NO y NO _x (r=-0.611; p<0.05). Se encontró una correlación negativa, estadísticamente significativa y moderada entre la humedad relativa y el O ₃ (r=-0.611; p<0.05). No hubo correlación estadísticamente significativa entre la presión del aire y los NO _x (p> 0.05). Mientras que se encontró una relación significativa positiva muy débil/débil entre la presión y PM ₁₀ y PM _{2.5} , SO ₂ , NO y CO (r=0.342; r=0.219; r=0.280; r=0.213; p<0.05), se encontró una

		relación estadísticamente significativa negativa, muy débil, entre la presión y el NO ₂ y el O ₃ ($r=-0.177$; $r=-0.202$; $p<0.05$).
India	Morawska et al., 2021.	Las concentraciones de O ₃ fueron de 12.53 µg/m ³ . También se halló que en la temporada de primavera el O ₃ fue de 23.20 µg/m ³ . Mientras que en verano 45.07 µg/m ³ . La alta insolación y las altas temperaturas son favorables para la formación de O ₃
Texas	Nordelof et al., 2019.	Las concentraciones de NO _x fue equivalente a 207.05 ± 117.65 µg/m ³ , Esto se da por el escaso viento, la luz solar hace que los NO _x y los COV reaccionen para formar ozono.
Japón	Kajino et al., 2021.	Se visualizó concentraciones de O ₃ de 21.84 ± 18.69 µg/m ³ , esto debido al transporte de largo alcance en marzo y la producción fotoquímica local en julio, en marzo, los vientos del noroeste predominan sobre Japón. El transporte de larga distancia de los contaminantes atmosféricos es dominante en primavera debido al transporte frontal de los ciclones y al transporte asociado con la migración de los anticiclones.
Kawasaki	Fukunaga et al., 2021.	Se encontró concentración de O _x de 40 µg/m ³ , la temperatura máxima diaria del aire fue de 30 °C o superior, la velocidad máxima diaria del viento fue de 3 m/s o menos, La radiación solar total diaria superó los 10 MJ/m ² .
Europa	Fanizza et al., 2018.	Se halló una concentración de PM _{2.5} de 70 µg/m ³ , causado por las condiciones, temperatura constante (20 ± 5 °C) y humedad (HR 50 ± 5%) durante ~48 h antes y después del muestreo.
China	Gautam et al., 2020	La concentración del contaminante NO _x fue de 33.15 µg/m ³ esto se da debido a las consecuencia de las reacciones entre NO _x y de los COV frente a la acción de radiación UV, de modo que se produce la formación de ozono en la troposfera.
España	Rumayor et al., 2022	La concentración del O ₃ frente el uso de luz solar fue de 37.72 µg/m ³ , temperatura adecuado (20.0–30.0 °C).
Malaysia	Abdul et al., 2018	CO/NO _x valores de ratio (entre 28.3 y 43.6), bajo SO ₂ /NO _x valores de relación (entre 0.04 y 0.12) y NO/NO ₂ los valores de relación superiores a 2.2. Donde la humedad 0.702, temperatura 0.230 – 0.155 y la velocidad del viento 4.807 - 10.367.

Fuente: Elaboración propia

OE3: Analizar las principales fuentes de generación del smog fotoquímico

Referente al objetivo específico 3, los siguientes autores establecieron que, entre las principales fuentes generadoras del smog fotoquímico, se hallaron las industrias, los vehículos y la biomasa, es así como, Gao et al. (2018), expuso que las industrias son las principales causantes de que, en China, así como en India se generen altas concentraciones de PM, originando riesgos en la salud y provocando que se reduzca la calidad del aire. Del mismo modo, Sun et al. (2021), determinaron que el componente O₃ que originó smog fotoquímico y en ocasiones excedían los niveles del estándar de salud, fueron producto del incremento de las industrias y de vehículos en las ciudades. Asimismo, Schmidt et al. (2018), evidenciaron que el transporte vehicular también es una de las causas que conlleva hacia el agotamiento de ozono y del origen de formación de oxidantes fotoquímicos. Ronkko et al. (2018), determinaron que las partículas fueron originadas por el tráfico vehicular, así como por la presencia de industrias, y también por emisiones relacionadas a la calefacción de edificios, por ende, las partículas se emiten de manera directa a la atmósfera. Desde otra perspectiva, Maia et al. (2020),

sostuvieron que la fuente vehicular provoca el smog fotoquímico y señaló que las emisiones de los vehículos son responsables de alrededor del 70% de los contaminantes del aire, sobre todo en aquellas las regiones metropolitanas. Igualmente, Spiro et al. (2021), manifestaron que la biomasa origina el aerosol orgánico y la emisión de esta fuente tiene gran impacto en la salud de las personas y sobre el medio ambiente. Además, a través del sistema de doble cámara, los autores manifestaron que alcanzaron a cuantificar las transformaciones químicas de las emisiones de la quema de biomasa.

Referente a la evaluación de la subcategoría industrias, Gao et al. (2018), sostuvieron que, en China e India, la gran cantidad de industrias han conducido al origen de PM, así como a sus precursores, conllevando a presentar perjuicios en la salud de la población y una elevada contaminación del aire. Asimismo, se consideró que el uso del modelo WRF evaluó el impacto de las emisiones y se pudo afirmar que es posible prevenir la pérdida de millones de vida si se reducen las emisiones de las industrias. Loriato et al. (2018), argumentaron que en Brasil el smog es considerado un fenómeno producido por la presencia de fábricas industriales, las cuales generan la emisión de gases. Igualmente, Jiayu et al. (2020), resaltaron que, las industrias resultaron ser las principales contaminantes y causantes del deterioro del aire, además de la aglomeración de actividades económicas. Sun et al. (2021), determinaron que el O₃ que causó smog fotoquímico y excedían los niveles del estándar de salud, se resultaron del acrecentamiento de industrias y vehículos. En relación con la subcategoría asociada a la fuente vehicular, la cual origina el smog fotoquímico, Schmidt et al. (2018), afirmaron que, el transporte vehicular es causante del agotamiento de ozono y del origen de formación de oxidantes fotoquímicos. No obstante, determinaron que también se halla la industrialización. Del mismo modo, Kibangou et al. (2021), indicaron que los vehículos dirigen a la emisión de contaminantes al medio ambiente, generando perjuicios en el medio ambiente, y salud humana por medio de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. Ronkko et al. (2018), determinaron que las partículas fueron ocasionadas por el tráfico vehicular, presencia de industrias.

Asimismo, Maia et al. (2020), mencionaron que la fuente vehicular fue la más predominante y causante del smog fotoquímico, estimando que las emisiones de

estas conducen al 70% de contaminantes en el aire. Además, Belis et al. (2020), afirmaron que el modelo CTM puso en evidencia que las concentraciones de los componentes ante las fuentes vehicular e industria demostraron cifras alarmantes, debido a que las PM presentaron mayor nivel, volviéndose el principal factor contaminante. Jiang et al. (2020), indicaron que el transporte genera gran contaminación del aire y el uso de los modelos ayudó a evaluar los efectos de las emisiones generadas por los mismos. Zohdirad et al. (2022), manifestaron que el tráfico vehicular es el causante del smog fotoquímico, sin embargo, se consideró que las fuentes son muy cambiantes, por ello es importante la evaluación de los efectos de las emisiones que los mismos producen. Respecto a la subcategoría biomasa, Spiro et al. (2021), señalaron que la quema de biomasa es una fuente de aerosol orgánico, además, la emisión de esta origina impactos en la salud, así como efectos en el medio ambiente. Asimismo, se determinó que las mediciones ejecutadas indicaron que la oxidación nocturna de COV respecto a la quema de biomasa se halló dominada por NO₃. Mientras que, Shehzadi et al. (2021), sostuvieron que fuentes de liberación de contaminantes son atribuidas a actividades que producen polvo, industrias, quema de material biogénico, entre otras. Asimismo, Absurrahman et al. (2020), expusieron que la biomasa favorece el smog fotoquímico y con una cámara de simulación determinaron la composición química de aerosoles provocados por biomasa determinando que el 50% se compone de carbono orgánico y de solo el 11% de carbón negro. Igualmente, Zhang et al. (2021), afirmaron que en Chiang Mai la biomasa se presenta entre febrero a abril, originando smog fotoquímico en dicha ciudad durante los días secos.

Tabla 5 Principales fuentes de generación del smog fotoquímico

Ciudad/País	Autor	Fuentes y Concentraciones
India	Gao et al., 2018	La principal fuente fueron las industrias y las concentraciones de PM fueron de 20.27 µg/m ³ . Los sectores energético e industrial son los mayores consumidores del sector de carbón.
Brasil	Loriato et al., 2018	La fuente de contaminación correspondió a las industrias y las concentraciones de PM _{2.5} fueron de 14.79 µg/m ³ , mientras que el NO _x fue de 54.71 µg/m ³ . Las tres principales fuentes de contribución (emisiones fugitivas de industrias, edificios y carreteras) contribuyen a 28.67%, 42.88%, 42.46% y 35.67% del total de emisiones para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente.
China	Jiayu et al., 2020	Las industrias fueron las fuentes que generaron el smog fotoquímico de la ciudad y la concentración de NO fue de 34.56 µg/m ³ , además, el PM ₁₀ fue de

		38.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la aglomeración manufacturera sobre la contaminación por smog afecta en un 10%.
Japón	Sun et al., 2021	Las fuentes fueron las industrias agrícolas y vehicular. Se hallaron concentración de O_3 de 22.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
India	Schmidt et al., 2018	Se consideró como fuente principal el transporte vehicular y la concentración de O_3 fue de 41.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración de NO fue de 27.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Estados Unidos	Kibangou et al., 2021	Los vehículos fueron la fuente que generó el smog fotoquímico. Entre las concentraciones se halló CO en 136.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NOx en 54.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y PM _{2.5} en 26.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
China	Ronkko et al., 2018	Las fuentes correspondieron a las industrias (17%) y tráfico vehicular y energético (11%). Las concentraciones fueron de NOx 38.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 170.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Estados Unidos	Maia et al., 2020	Se halló como fuente el tráfico vehicular en la ciudad y se halló que las emisiones máximas fueron equivalentes a NO 25.066 mol/s, NO ₂ 16.347 mol/s, SO ₂ 1.165 mol/s y PM ₁₀ 26.762 g/s respectivamente.
Estados Unidos	Belis et al., 2020	Las fuentes fueron las industrias y tráfico vehicular. Se hallaron concentraciones de PM ₁₀ en 40.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM _{2.5} en 20.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
India	Jiang et al., 2020	La principal fuente fue el tráfico vehicular. Se encontró concentración de PM _{2.5} en 33.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Europa	Zohdirad et al., 2022	Las fuentes que dieron origen al smog correspondieron al tráfico vehicular. Se halló concentración de CO de 226.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tráfico fronteriza (65 %), seguida del tráfico todoterreno (11 %) y el tráfico rodado (8 %).
Estados Unidos	Spiro et al., 2021	Se consideró como fuente principal la biomasa. Se observó concentración de NO ₃ en 39.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Lahore	Shehzadi et al., 2021	La fuente fueron las industrias y se hallaron concentraciones de PM _{2.5} de 10,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO alcanzó 04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respecto al NO ₂ se obtuvo el 9,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Thailand	Absurrahman et al., 2020	La biomasa fue la principal fuente que generó el smog. Se visualizó concentración de O_3 de 22.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de NO de 34.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Chaing Mai	Zhang et al., 2021	La principal fuente fue la biomasa. Se halló que el BrC contribuyó en la absorción de CA entre el 33 al 40% y el BC favoreció a la absorción entre 60 a 67%, durante la estación seca.

Fuente: Elaboración propia

OE4: Analizar los diferentes tipos de modelos para estudiar el smog fotoquímico

Referente al objetivo específico 4, los siguientes autores expusieron diversos tipos de modelos y equipos que se han empleado para el estudio sobre el smog fotoquímico. En tal sentido, Bang et al. (2018), señalaron que el modelo TAPM-CTM implicaba un componente meteorológico de pronóstico, y un componente fotoquímico, con ello fue posible llevar a cabo una evaluación de calidad del aire y el alcance de contaminación. De igual manera, los resultados señalaron que este modelo fue oportuno a efecto de contar con una simulación del proceso fotoquímico

en un tiempo establecido. Por otro lado, Muhammad (2019), indicó que diversas organizaciones han utilizado los modelos CAMx y CMAQ, que permiten realizar una predicción y determinan las condiciones fotoquímicas en la calidad del aire, asimismo evaluaron la contaminación gaseosa. Los autores Yang y Lung (2021), afirmaron que la aplicación del modelo EGARCH favoreció en la predicción de las varianzas condicionales por medio de la inclusión de variables ficticias, volviéndolo oportuno por su misma capacidad de predicción al evaluar contaminantes presentes en el aire. Desde otra perspectiva, Xiaoju et al. (2021), expusieron la importancia del uso de modelos fotoquímicos a fin de evaluar los efectos de las concentraciones de los contaminantes, como CMAS, CMAQ que se centran en la calificación de la calidad del aire. Jiawei et al. (2022), indicaron que el modelo DBN-BP fue preciso para la recolección de datos sobre la predicción de neblina, además, el modelo contaba con mayor rendimiento sobre predicción en general, sobre todo frente concentraciones de contaminación elevadas. Del mismo modo, Jianbo et al. (2019), manifestaron que modelo aditivo generalizado fue relevante y el más apropiado para la realización de una evaluación de la relación lineal o no de los contaminantes del aire, así como de las variables meteorológicas. Por su parte, Hou y Xu (2022), expusieron que el modelo aditivo generalizado, es el más conveniente para llevar a cabo una evaluación cuantitativa y analizar los factores meteorológicos que tienden a damnificar los niveles sobre la contaminación del aire. Mientras, Junling et al. (2021), señalaron que, para los estudios de los procesos químicos asociados a la contaminación del aire, el empleo de cámaras de smog contribuyó a analizar los mecanismos químicos en la fase gaseosa atmosférica. En tal sentido, la cámara CRAES fue la más idónea para simular procesos fotoquímicos atmosféricos en condiciones de un entorno atmosférico real.

Referente a la subcategoría softwares, en la evaluación del modelo de transporte químico de contaminación del aire (TAPM-CTM), Bang et al. (2018), afirmaron que el modelo TAPM-CTM intuye un componente meteorológico de pronóstico, además de un componente fotoquímico, que posibilitan el estudio de calidad del aire y el alcance de contaminación. De igual manera, que evidenciaron que este modelo es adecuado para la simulación del proceso fotoquímico para una cuenca atmosférica dentro de un tiempo establecido. Mientras que en la evaluación del modelo WRF-CAM, los autores Nguyen y Thi (2020), han señalado que, para analizar las PM,

producidos por los vehículos, se empleó el modelo WRF (modelo meteorológico) y el modelo CAMx (fotoquímico), que ayudaron a obtener un estudio atmosférico y de predicción, además de la identificación de la calidad del aire. Por otro lado, Muhammad (2019), indicó que en la actualidad se usan modelos CAMx y CMAQ, para la predicción, determinar condiciones fotoquímicas en la calidad del aire, y evaluar la contaminación gaseosa. De igual manera, Ali et al. (2021), expusieron que este modelo permite evaluar procesos tanto biológicos como químicos y físicos, siendo eficaces debido a que registraron el 80% de variación del oxígeno disuelto. Además, Yang et al. (2019), afirmaron que el modelo es empleado desde hace muchos años en una ciudad contribuyendo en el pronóstico diario de la calidad del aire.

En lo que concierne al modelo EGARCH, Yang y Lung (2021), indicaron que el modelo EGARCH contribuyó en el estudio minucioso de varianzas condicionales mediante la inclusión de variables ficticias. Asimismo, el modelo presentó capacidad de predicción al evaluar contaminantes que se hallan en el aire. Respecto a la evaluación de los sistemas de modelado CMAQ y CAMx, los autores Wang et al. (2021), indicaron que el modelo CMAQ fue un sistema de transporte y química atmosférica tridimensional que simuló el material particulado y otros contaminantes en el aire, mientras el WRF otorgó un campo meteorológico que impulsó al primer modelo. Desde otra perspectiva, Hemberck et al. (2019), señalaron que el modelo CMAQ, se basa en la parametrización del smog fotoquímico, por ello, sirvió como herramienta para determinar estrategias que ayudan a obtener estándares de O₃ sobre la superficie. Igualmente, Xiaoju et al. (2021), expusieron la importancia del uso de modelos fotoquímicos a fin de evaluar efectos de las concentraciones de los contaminantes, siendo CMAS, CMAQ que se centran en la calificación de la calidad del aire. Raj (2021), expuso que el modelo CMAQ favoreció la simulación del ciclo atmosférico de cada uno de los componentes, para así determinar la calidad del aire en Phoenix. Mientras que, Gronoff et al. (2019), señalaron que el modelo proporcionó una mayor visión de la variabilidad del O₃ en la bahía de Chesapeake. Cheng et al. (2022), manifestaron que este modelo posibilitó la simulación de condiciones atmosféricas y favoreció en la predicción del ozono en EE.UU. También Itahashi et al. (2021), indicaron que el modelo CMAQ fue determinante para la evaluación de emisiones de nitrógeno en Asia. En relación

con la evaluación del modelo (DBN-BP), Jiawei et al. (2022), afirmaron que el modelo DBN-BP posibilitó la obtención de datos puntuales sobre la predicción de neblina, ya que contó con un mayor rendimiento de predicción en general, aún con concentraciones de contaminación altas.

Referente a la subcategoría equipos que posibilitan la apreciación del smog fotoquímico, en la evaluación de la cámara de reactor dual, Luo et al. (2020), indicaron que las cámaras de reactor dual permitieron el análisis de la correlación de intensidad de la luz y O₃ desarrollados por reacciones fotoquímicas de aire. Además, afirmaron que el modelo se usó en evaluaciones de mecanismos de oxidación atmosférica de contaminantes y formación de contaminantes secundarios, así como en el estudio de mecanismos de oxidación sobre una fase gaseosa. En correspondencia a la evaluación cámara de aditivos generados, los autores Hou y Xu (2022), manifestaron que el modelo aditivo generalizado en conjunto con efectos marginales fue favorable en el análisis cuantitativo, contribuyendo en la evaluación de cuán perjudicial fueron los factores meteorológicos para los niveles de contaminación de aire. Además, Jianbo et al. (2019), manifestaron que este modelo fue oportuno para la evaluación de la relación lineal o no de los contaminantes del aire, y sus variables meteorológicas. En cuanto a la cámara de simulación atmosférica al aire libre a gran escala, Junling et al. (2021), señalaron que, a nivel mundial para estudios sobre procesos químicos en la contaminación del aire, se han utilizado cámaras de smog para analizar mecanismos químicos dentro de la fase gaseosa atmosférica. Por ello, la cámara CRAES se apropió para una simulación de procesos fotoquímicos atmosféricos a través de condiciones de un entorno atmosférico real.

Tabla 6 Modelos para estudiar el smog fotoquímico

Ciudad/País	Autor	Modelo
Estados Unidos	Bang et al., 2018.	Modelo de transporte químico de contaminación del aire (TAPM-CTM), la concentración fue: NO 0.36%, NO _x 0.26%, PM 1.2%, SO ₂ 1.02% y MP 1.15%. Utiliza el mecanismo químico CTM utilizado Carbon Bond 5 (CB5) con un módulo de aerosol de dos recipientes (PM _{2.5} y PM ₁₀). además se usaron datos metereologicos de la estación.
Lahore	Nguyen y Thi (2020),	Modelo WRF-CAMx, la concentracion fue: SO ₂ (0.55%), MO (0.46%), PM ₁₀ (0.18% - 0.55%) y de PM ₂₅ (0.37%). WRF proporcionó datos de entrada de campos meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura, presión, vapor de agua, cobertura de nubes, lluvia y difusividad vertical), La

		simulación WRF se realizó utilizando el clúster Computing on Kepler Architectures (COKA), un sistema informático multinúcleo de alto rendimiento. Los niveles de PM _{2.5} simulados por hora fueron más altos en los meses secos, marzo y noviembre (máximo de 84 µg/m ³ y 133 µg/m ³ en la red ST-59; 73 µg/m ³ y 113 µg/m ³ en la red ST-61, respectivamente), y menor en el mes húmedo de agosto (máximo de 68 µg/m ³ en ST-59 y 60 µg/m ³ en ST-61).
Thailand	Muhammad (2019).	Modelo CMAQ, con concentraciones de: HNO ₃ , NO _x y CH ₃ CO ₃ NO ₂ respectivamente. CAMx simula la emisión, dispersión, reacción química y eliminación de contaminantes haciendo avanzar la ecuación de continuidad euleriana en el tiempo (t) para cada especie química (l) en un sistema de cuadrículas tridimensionales anidadas.
Lahore	Yang y Lung (2021).	Modelo EGARCH, se halló concentraciones de trimetilbenceno (TB) con un máximo de 8.16 y un mínimo de 0.05, tolueno (TU) con un máximo de 4.03 y un mínimo de 0.05, isopropilbenceno (IB) con un máximo de 4.03 y un mínimo de 0.01, utilizando las características de concentración atmosférica del área de estudio.
Thailand	Wang et al. (2021)	Sistemas de modelado WRF-CMAQ, con concentraciones de: (CNS) (2.5 ng/m ³), y 99% of PAHs, El dominio del modelo cubría toda la ciudad de Lanzhou en una resolución de cuadrícula de 22 km ² y 29 niveles verticales no uniformes con la altura atmosférica del modelo superior a unos 20 km. Los resultados de CMAQ predijeron las concentraciones de PAH y la deposición húmeda y seca cada hora.
Thailand	Hembeck et al. (2019).	Sistemas de modelado CMAQ y CAMx, con concentraciones de: O ₃ de 70 ppb, Nuestro estudio se centra en evaluar el mecanismo químico dentro del modelo Community Multi-scale Air Quality (CMAQ), utilizando datos de aeronaves recopilados en Maryland durante la fase de verano de 2011 de la NASA Obtención de información sobre las condiciones de la superficie a partir de columnas y observaciones resueltas verticalmente relevantes para el aire. Campaña de calidad (DISCO VER-AQ, en adelante D-AQ).
China	Xiaoju et al. (2021)	Sistemas de modelado CMAQ y CAMx, con concentraciones de: O ₃ _NO _x industrial equivalente a 8-15 ppb; 20-25% del total de O ₃ , El modelado de dispersión utiliza principalmente formulaciones matemáticas para describir los procesos atmosféricos de los contaminantes emitidos por las fuentes. Se puede aplicar para predecir También se utilizan concentraciones en ubicaciones seleccionadas de receptores a favor del viento. para analizar el cumplimiento de NAAQS y otros requisitos reglamentarios
Thailand	Jiawei et al. (2022).	Modelo (DBN-BP), con concentraciones de: PM _{2.5} de 18.20 y 63.89% µg/m ³ . Utiliza la predicción de niebla y neblina basado en una red neuronal DeepBelief-BP.
Thailand	Ali et al. (2021)	Modelo WRF, las concentraciones de PM _{2.5} estuvieron por debajo del 40%, se desarrolló un marco de modelado numérico para simular diferentes procesos físicos, químicos y biológicos en un ecosistema costero semicerrado mediante la

		integración del modelo de investigación y pronóstico del tiempo (WRF) con un modelo 3D hidrodinámico y de ecosistema (Ise Bay Simulator)
Estados Unidos	Yang et al. (2019)	Modelo WRF, las concentraciones de PM ₁₀ de 95.9 µg/m ³ a 110.3 µg/m ³ , y el PM _{2.5} de 82.4 µg/m ³ a 95.4 µg/m ³ . se utiliza como el controlador meteorológico y proporciona entrada meteorológica para los modelos SMOKE y CMAQ con el Módulo Procesador de Interfaz Meteorología-Química.
Estados Unidos	Raj, 2021.	Modelo CMAQ, alcanzando concentraciones de PM semejante a 8.85 µg/m ³ , este estudio empleó datos actualizados y de muy alta resolución sobre el uso de la tierra, la textura del suelo y el índice de vegetación.
Estados Unidos	Gronoff et al., 2019.	Modelo CMAQ, se encontraron concentraciones de PM _{2.5} >75 µg/m ³ , el modelo utilizó la brisa marina, la velocidad del viento.
Estados Unidos	Cheng et al., 2019.	Modelo WRF- CMAQ, se observó que la temperatura y la humedad relativa son las variables más significativas para el SO ₂ , y el efecto marginal alcanza el 15% y el 7%.
Estados Unidos	Itahashi et al, 2021	Modelo WRF- CMAQ, hallando que la humedad relativa y la visibilidad son las variables meteorológicas más significativas que se asocian con la concentración de PM _{2.5} , y el efecto marginal alcanza el 80 %, -23 % y 270 %.
Estados Unidos	Luo et al., 2020	Cámara de reactor dual, encontrando que las variables más significativas para el O ₃ son la temperatura y la radiación solar, con un efecto marginal de hasta el 70% y el 8%.
Lahore	Hou y Xu, 2022	Cámara de aditivos generados, se observó que las concentraciones de O ₃ variaron entre 0.70 y 0.12 ppb.
Thailand	Jianbo et al., 2019	Se empleó la Cámara de aditivos generados, observando que la concentración de O ₃ fue de 0.24 ppb. Además En términos muy simplistas, el clima soleado es muy propicio para la producción de ozono.
Thailand	Junling et al., 2021	Una cámara de smog de simulación atmosférica al aire libre a gran escala, visualizando que la presión atmosférica y la temperatura tuvieron un efecto positivo sobre el CO y el efecto marginal puede llegar al 18% y al 80%.

Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

Se concluye:

OE1: dentro de la composición química del smog fotoquímico, se han registrado tanto componentes químicos primarios como secundarios, igualmente, respecto a los factores metodológicos que han incidido directamente en estos componentes han sido la presión atmosférica, la temperatura, la velocidad y dirección del viento; así como, la prevalencia en cuanto a la radiación UV y la humedad relativa. De igual manera, no se puede dejar de lado que los avances del smog fotoquímico pueden dirigir a que no solo el ambiente sea el perjudicado, sino que la población en general cuenta con una alta incidencia de padecer de alteraciones respiratorias y otro tipo de patologías relacionadas.

Del mismo modo, se concluyó que, dentro del grupo de los componentes químicos primarios, se identificó que los efectos producidos por los mismos en el ambiente, se han asociado al aumento del daño en la vegetación, derivando con ello a que la suma de compuestos como el NO y NO₂, llegan a ser emitidos mediante fuentes antropogénicas. Asimismo, se determinó que tanto la reactividad fotoquímica como la capacidad de oxidación conducen a la contaminación fotoquímica, que en añadidura de los SOA producen impacto en las modificaciones de las propiedades de la calidad de aire y en las nubes. Entre los primarios tenemos a los COV, NO_x, NO₂, mientras que los secundarios CO, PM_{2.5}, O₃, estos componentes al reaccionar entre estos mismos ocasionan la generación de compuestos mucho más perjudiciales que hacen más rápido la formación del smog.

OE2: los factores meteorológicos principales que intervienen en la formación del smog fotoquímico llegan a ser los siguientes: presión atmosférica, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa y rayos UV, en donde la unión de estos factores dirige a una alta prevalencia de contaminantes secundarios como NO_x y COV los cuales al presentar reacción originan ozono, que la mayoría de veces son perjudiciales para el medio ambiente, mientras que en otras ayuda a la degradación y dispersión.

OE3: entre los principales fuentes de generación del smog fotoquímico se identificaron: la industria (cementera, alimentaria, metalurgia, hidrocarburos), el

aumento del parque automotor (motocicletas, barcos, locomotoras, aviones) y la biomasa (arros, maiz), en donde los resultados han demostrado que estos se han encontrado vinculados con la generación de partículas finas, las cuales son consideradas carcinógenos para las personas, siendo también el resultado del incremento de la industrialización en donde ello se ha visto complementado por el hecho de que el transporte vehicular es una de las principales causas del agotamiento de ozono, y dan origen de formación de oxidantes fotoquímicos.

OE4: los diferentes modelos de estudio del smog fotoquímico registrados han podido dividirse en softwares y equipos, en donde los primeros de estos han quedado expuestos en los modelos de transporte químico, modelo WRF-CAMx, Modelo EGARCH, Sistemas de modelado CMAQ y CAMx, Modelo (DBN-BP), entre otros.

En el caso del modelo DBN utilizo un conjunto de datos: incluidos los datos de neblina históricos (concentración de $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , CO , NO_2 , SO_2) y los datos de neblina futuros (concentración de $PM_{2.5}/PM_{10}$), predijimos las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en Chengdu área urbana, comparó y analizó, los valores reales. Al seleccionar diferentes capas ocultas para llevar a cabo experimentos de simulación, se utiliza el algoritmo de retropropagación para optimizar los parámetros del modelo. Finalmente, comparamos el modelo de predicción de neblina basado en la red neuronal Deep Belief-Back Propagation con el método de predicción de red neuronal Back Propagation convencional existente. WRF Weather Research and Forecasting, este modelo utiliza datos metereologicos para tener un limite atmosferico con el cual se pueda trabajar. Con el modelo El modelo CMAQ tiene capacidades para simular ozono, material particulado, visibilidades y especies contaminantes ácidas en toda la troposfera a escala regional y urbana, utilizando datos que han sido recogidos durante años atrás y también monitoreados en la actualidad para poder ser comparados, en el caso del modelado WRF-SMOKE-CMAQ se utiliza como el controlador meteorológico y proporciona entrada meteorológica para los modelos SMOKE y CMAQ con el Módulo Procesador de Interfaz Meteorología-Química (MCIP). En el caso del modelo EGERCH, se utilizo para la correlación entre los tres COV y los fenómenos meteorológicos, así como la interacción entre ellos con respecto a interacción y formación. Mientras que, los

equipos que se emplearon para el estudio de estos fueron la cámara de reactor dual, cámara de aditivos generados y cámara de smog de simulación atmosférica al aire libre.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a demás investigadores, el desarrollo de una propuesta de compensación que pueda generar un aporte científico hacia el control de los efectos del smog fotoquímico en el ambiente, con la intención de poder implementarse a pequeña escala y verificar la efectividad de esta o iniciar una serie de investigaciones que puedan complementar dicha propuesta, en miras de reducir la afectación del smog fotoquímico.

Así mismo, se recomienda realizar una evaluación descriptiva correlacional, con la intención de poder evaluar cómo es que los componentes químicos, tanto primarios como secundarios del smog fotoquímico pueden incidir en la degradación de la calidad de vida de las personas en un ambiente determinado.

Además, se recomienda realizar una evaluación descriptiva relacionada con los factores meteorológicos que más han llegado a incidir en la prevalencia del smog fotoquímico, con la intención de poder realizar una evaluación local acerca de ello y prever diferentes medidas de control.

Mientras que, se recomienda realizar un estudio correlacional que se centre en la evaluación del nivel de incidencia que puede llegar a tener la industria, el parque automotor y la biomasa, en cuanto a la generación del smog fotoquímico, con la finalidad de poder comprender cómo es que estos pueden llegar a influir en la prevalencia de contaminantes en el ambiente.

Así mismo, se recomienda comparar la efectividad de los diferentes softwares existentes para el estudio del smog fotoquímico, con la intención de mantener la evaluación integral acerca de la precisión de estos.

REFERENCIAS

- ABDUL, N., TALIB, M., AHAMAD, F., DOMINICK, D., XIANG, J., JUNENG, L. Y FIROZ, M. The long-term assessment of air quality on an island in Malaysia [En línea] 2018. *Journal of Heliyon*, 4 n° 12 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(18\)31540-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844018315408%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(18)31540-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844018315408%3Fshowall%3Dtrue)
- ABSURRAHMAN, M. CHAKI, S. Y SAINI, G. Stubble burning: Effects on health & environment, regulations and management practices. [En línea] 2020. *Environmental Advances*, 2 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765720300119>
- ALI, M., NAKAMURA, Y., SUZUKI, T., INOUE, T., MATSUZAKI, Y., WANG, K. Y MOIZ, A. Integration of Weather Research and Forecasting (WRF) model with regional coastal ecosystem model to simulate the hypoxic conditions [En línea] 2021. *Science of the Total Environment*, 771 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721003569>
- ALVAREZ, P. y MALLQUI, N. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BENCENO EN AIRE EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS CERCANOS A LA REFINERIA DE CONCHAN - LIMA 2019 (Informe de preparado). Lima. Universidad Norbert Wiener, 2019. Disponible en http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3658/T061_419568_86_47424953_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- BAKLANOV, A. Y ZHANG, Y. Advances in air quality modeling and forecasting. [En línea] 2020. *Global Transitions*, 2 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589791820300232>
- BANG, H., NGUYEN, H., VU, K. Photochemical Smog Modelling Using the Air Pollution Chemical Transport Model (TAPM-CTM) in Ho Chi Minh City, Vietnam [En línea] 2019. *Environmental Modeling & Assessment*, 24 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10666-018-9613-7>

BELIS, C., PERNIGOTTI, D., PIROVANO, G., FAVEZ, O., JAFFREZO, J., KUENEN, J., DER, H., REIZER, M., RIFFAULT, V., ALLEMAN, L., ALMEIDA, M., AMATO, F., ANGYAL, A., ARGYROPOULOS, G., BANDE, S., BESLIC, I., BESOMBES, J., BROVE, M., BROTTTO, P., CALORI, G., CESARI, D., COLOMBI, C., CONTINI, D., GENNARO, G., GILIO, A., DIAPOULI, E., HOPKE, P., VIVANCO, M., LAZZERI, P., LUCARELLI, F., PANDOLFI, M., SAMARA, C., SCOTTO, F., YUBERO, E. Evaluation of receptor and chemical transport models for PM10 source apportionment [En línea] 2020. *Atmospheric Environment: X*, 5 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300565>

BELIS, C., PISONI, E., DEGRAEUWE, B., PEDUZZI, E., THUNIS, P., MONFORTI, F. Y GUIZZARDI, D. Urban pollution in the Danube and Western Balkans regions: The impact of major PM2.5 sources. [En línea] 2019. *Environment International*, 133 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019310050>

CARMONA, R., GOMEZ, J., GUTIERREZ, E. Y JIMENEZ, F. Checking complex networks indicators in search of singular episodes of the photochemical smog [En línea] 2019. *Chemosphere*, 241 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519323240?via%3Dihub>

CHANG, X., LIANG, D., CHANG, Y., YINGJIE, Z. Y BAODONG, C. Can forest city construction affect urban air quality? The evidence from the BeijingTianjin-Hebei urban agglomeration of China [En línea] 2020. *Journal of Cleaner Production*, 264 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620316541?via%3Dihub>

CHEN, B., LI, M., LUO, L., DENG., ZHOU, R. Y CHEN, D. Simulating the effects of land urbanization on regional meteorology and air quality in Yangtze River Delta, China [En línea] 2020. *Applied Geography*, 120 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622820301314?via%3Dihub>

CHEN, C., KACARAB, M., TANG, P. Y COCKER, D. SOA formation from naphthalene, 1-methylnaphthalene, and 2-methylnaphthalene photooxidation. [En línea] 2019. *Atmospheric Environment*, 131 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231016301121>

CHEN, H., JUNTAO, H., QINGYAN, F., YUSEN, D., HANG, X. Y JIANMIN, C. Impact of quarantine measures on chemical compositions of PM2.5 during the COVID-19 epidemic in Shanghai, China [En línea] 2020. *Science of the Total Environment*, 743 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720342820?via%3Dihub>

CHEN, J., YIN, D., ZHAO, Z., KADUWELA, A., AVISE, J., DAMASSA, J., BERERSROF, A., BURTON, S., FERRARE, R., HERMAN, J., WISTHALER, A., YOUNG, D. Y ZHANG, Q. Modeling air quality in the San Joaquin valley of California during the 2013 Discover-AQ field campaign [En línea] 2020. *Atmospheric Environment: X*, 5 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259016212030006X>

CHEN, Z., CHEN, D., ZHAO, C., KWAN, M., CAI, J., ZHUANG, Y., ZHAO, B., WANG, X., CHEN, B., YANG, J., LI, R., HE, B., GAO, B., WANG, K. Y XU, B. Influence of meteorological conditions on PM2.5 concentrations across China: A review of methodology and mechanism [En línea] 2020. *Environment international*, 139 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019323323?via%3Dihub>

CHENG, P., POUR, A., TYLER, A. Y MCNIDER, R. Improvement of summertime surface ozone prediction by assimilating Geostationary Operational Environmental Satellite cloud observations. [En línea] 2019. *Atmospheric Environment*, 133 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021005732>

CHENG, S., WEI, W. Y CHAO, H. Design an Ultra-low Adsorption Gas Sampling System for Ozone and Photochemical Continuous Online Monitoring Instruments [En línea] 2019. *International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, 1 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/document/8845479>

CONCYTEC. Código Nacional de la Integridad Científica (Informe técnico) Lima. Concytec, 2022. Disponible en <https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/Codigo-integridad-cientifica.pdf>

CZERWINSKA, J. Y WIELGOSINSKI, G. Smog Episodes in Poland [En línea] 2020. *Atmosphere*, 11 n° 3 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/3/277>

DUNKER, A., NOPMONGCOL, U. Y YARWOOD, G. Uncertainty analysis of modeled ozone changes due to anthropogenic emission reductions in Eastern Texas. [En línea] 2022. *Atmospheric Environment*, 1268 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021006208>

FANIZZA, C., BERARDIS, B., IETTO, F., SOGGIU, M., SCHIRO, R., INGLESSIS, M., FERNANDO, M. Y INCORONATO, F. Analysis of major pollutants and physico-chemical characteristics of PM_{2.5} at an urban site in Rome [En línea] 2018. *Science of the Total Environment*, 616 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717328796?via%3Dihub>

FENGLI, H., MENGYU, L., HUANGRONG, Z., TING, L., DANDAN, L., SHUO, Z., WENWEN, G. Y FANG, L. Product analysis and mechanism of toluene degradation by low temperature plasma with single dielectric barrier discharge [En línea] 2020. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24 n° 9 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319610320300855?via%3Dihub>

FLORES, P. Análisis comparativo de métodos de estimación de emisiones vehiculares en ambientes urbanos en Lima (Informe de pregrado). Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020. Disponible en https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/17651/FLORES_VELARDE_PATRICK_ANALISIS_COMPARATIVO_MÉTODOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FUKS, K., HÜLS, A., SUGIRI, D., ALTUG, H., VIERKÖTTER, A., ABRAMSON, M., GOEBEL, J., WAGNER, G., DEMUTH, I. KRUTMANN, J. Y SCHIKOWSKI, T. Tropospheric ozone and skin aging: Results from two German cohort studies [En línea] 2019. *Environmental International*, 124 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018321391?via%3Dihub>

FUKUNAGA, A., SATO, T., FUJITA, K., YAMADA, D., ISHIDA, S. Y WAKAMATSU, S. Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki [En línea] 2021. *Atmosphere*, 12 n° 4 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/4/446>

FUKUSAKI, Y., UMEHARA, M., KOUSA, Y., INOMATA, Y. Y NAKAI, S. Investigation of air pollutants related to the vehicular exhaust emissions in the kathmandu valley, Nepal [En línea] 2021. *Atmosphere*, 12 n° 10 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/10/1322>

GAO, M., BEIG, G., SONG, S., ZHANG, H., HU, J., YING, Q., LIANG, F., LIU, Y., WANG, H., LU, X., ZHU, T., CARMICHAEL, G., NIELSEN, C. Y MCELROY, M. The impact of power generation emissions on ambient PM_{2.5} pollution and human health in China and India [En línea] 2018. *Environment International*, 121 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018313369>

GAUTAM, A., MATA, T., MARTINS, A. Y CAETANO, N. Evaluation of Areca palm renewable options to replace disposable plastic containers using life cycle assessment methodology [En línea] 2020. *Energy Reports*, 6 n° 1 [Fecha de

consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719305943?via%3Dihub>

GIROTTI, S., SIMIONI, F., TADANO, Y., COSTA, V. Y DE ALVARENGAS, R. Evaluation of characterization models for the photochemical smog impact category focused on the Brazilian reality [En línea] 2019. *Revista Latino Americana Em Avaliação Do Ciclo De Vida*, 3 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <http://lalca.acv.ibict.br/lalca/article/view/4263>

GREENPEACE INTERNATIONAL. 2018 World air quality report: region & city pm2.5 ranking (Informe técnico). Canadá. IQAir AirVisual, 2018. Disponible en <https://www.greenpeace.org/international/press-release/21193/latest-air-pollution-data-ranks-worlds-cities-worst-to-best/?fbclid=IwAR2bLal-wDETqu5EvQXnuDt0i2Hvo2ZtxCkcoUX7tUqW9qHHeJiVtTFFRTI>

GRONOFF, G., ROBINSON, J., BERKOFF, T., SWAP, R., FARRIS, B., SCHROEDER, J., HALLIDAY, H., KNEPP, T., SPINEI, E., CARRION, W., ADCOCK, E., JOHNS, Z., ALLEN, D. Y PIPPIN, M. A Method for Quantifying Near Range Point Source Induced O₃ Titration Events Using Co-located Lidar and Pandora measurements. [En línea] 2019. *Atmospheric Environment*, 204 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231019300846>

HEMBECK, L., HE, H., VINCIGUERRA, T., CANTY, T., DICKERSON, R., SALAWITCH, R. Y LOUGHNER, C. Measured and modelled ozone photochemical production in the Baltimore-Washington airshed [En línea] 2019. *Atmospheric Environment*, 2 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300206?via%3Dihub>

HOU, K. Y XU, X. Evaluation of the Influence between Local Meteorology and Air Quality in Beijing Using Generalized Additive Models [En línea] 2022. *Atmosphere*, 13 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/1/24>

ITAHASHI, S., HAYASHI, K., TAKEDA, S., UMEZAWA, Y., MATSUDA, K., SAKURAI, T. Y UNO, I. Nitrogen burden from atmospheric deposition in East Asian oceans in 2010 based on high-resolution regional numerical modeling. [En línea] 2021. *Environmental Pollution*, 286 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121008915>

JARCZEWSKI, S., BARANSKA, K., DROZDEK, M., MICHALIK, M., BIZON, K. Y KUSTROWSKI, P. Energy-balanced and effective adsorption-catalytic multilayer bed system for removal of volatile organic compounds [En línea] 2022. *Chemical Engineering Journal*, 431 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894721049627?via%3Dihub>

JIALIN, X., WENXIN, H., DONGHAI, L. Y PENG, G. Photochemical impacts on the toxicity of PM2.5 [En línea] 2020. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10643389.2020.1816126>

JIANBO, Y., JINGLE, L., SUQUIN, H., QING, Y. Y ZIYING, C. Study of themeteorological influence on ozone in urban areas and their use in assessing ozone trends in all seasons from 2009 to 2015 in Tianjin, China [En línea] 2019. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-019-00664-x>

JIANG, J., AKSOYOGLU, S., CIARELLI, G., BALTENSPERGER, U. Y PRÉVOT, A. Changes in ozone and PM2.5 in Europe during the period of 1990–2030: Role of reductions in land and ship emissions [En línea] 2020. *Science of the Total Environment*, 741 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720339899>

JIAWEI, T., YAN, L., WENFENG, Z. Y LIRONG, Y. Smog prediction based on the deep belief - BP neural network model (DBN-BP) [En línea] 2022. *Urban Climate*, 41 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095521003084?via%3Dihub>

JIAYU, F., XUE, T., RUI, X. Y FENG, H. The effect of manufacturing agglomerations on smog pollution [En línea] 2020. *Structural Change and Economic Dynamics*, 54 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0954349X19304266?via%3Dihub>

JUNLING, L., HONG, L., XUEZHONG, W., WEIGANG, W., MAOFA, G., HAO, Z., XIN, Z., KUN, L., YAN, C., ZHENHAI, W., FAHE, C., FAN, M., YUJIN, M., ABDELWAHID, M., COLMILLO, B., YUJIE, Z., LINGYAN, W. Y YONGCHUN, L. A large-scale outdoor atmospheric simulation smog chamber for studying atmospheric photochemical processes: Characterization and preliminary application [En línea] 2021. *Journal of Environmental Sciences*, 102 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074220303879?via%3Dihub>

KAJINO, M., TANJI, N. Y KURAMOCHI, M. Better prediction of surface ozone by a superensemble method using emission sensitivity runs in Japan [En línea] 2021. *Atmospheric Environment*, 12 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162121000204?via%3Dihub>

KANG, H., KIM, Y., COLLIER, S., ZHANG, Q. Y KIM, H. Volatility of Springtime ambient organic aerosol derived with thermodenuder aerosol mass spectrometry in Seoul, Korea. [En línea] 2022. *Environmental Pollution*, 304 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122004171>

KARHONEN, A., RELVAS, H., MIRANDA, A., FERREIRA, J., LOPES, D., RAFAEL, S., ALMEIDA, S., FARIA, T., MARTINS, V., CANHA, N., DIAPOULI, E., ELEFThERIADIS, K., CHALVATZAKI, E., LAZARIDIS, M., LEHTOMÄKI, H., RUMRICH, I. Y HÄNNINEN, O. Analysis of spatial factors, time-activity and infiltration on outdoor generated PM_{2.5} exposures of school children in five European cities [En línea] 2021. *Science of the Total Environment*, 785 n° 1 [Fecha

de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721021811>

KHAN, F., JAQUI, M., RUDZINSKI, K., KWAPISZEWSKA, K., MARTINEZ, A., GIL, D., LEWANDOWSKI, M., KLEINDIENST, T., OFFENBERG, J., KRUG, J., SURRATT, J. Y SZMIGIELSKI, R. Cytotoxicity and oxidative stress induced by atmospheric mono-nitrophenols in human lung cells. [En línea] 2022. *Environmental Pollution*, 301 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974912200224X>

KIBANGOU, A., MOYO, T. Y MUSAKWA, W. Dynamic Linear Model for Urban Essential Traffic Congestion and Emissions [En línea] 2021. *Journal IFAC- Papers on line*, 54 n° 21 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589632102365X?via%3Dihub>

LIU, S., XING, J., WANG, S., DING, D., CHEN, L. Y HAO, J. Revealing the impacts of transboundary pollution on PM2.5-related deaths in China. algorithm [En línea] 2020. *Environment International*, 134 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019324171>

LORIATO, A., SALVADOR, N., BARBOSA, A., SOKOLOV, A., NASCIMENTO, A., YNOUE, R., MOREIRA, D., REIS, N. Y ALMEIDA, T. Inventário de Emissões com Alta Resolução para a Região da Grande Vitória Utilizando o Sistema de Modelagem Integrada WRF-SMOKE-CMAQ. [En línea] 2018. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33 n° 3 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/JPByz7cCYXXc8g3pXWx8XTz/?lang=pt>

LUO, H., GUIYING, L. JIANGYAO, C., YUJIE, W. Y TAICHENG, A. Reactor characterization and primary application of a state of art dual-reactor chamber in the investigation of atmospheric photochemical processes [En línea] 2020. *Journal of Environmental Sciences*, 98 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074220302369?via%3Dihub>

MAIA, R., BAPTISTA, L. Y MARTINS, E. Preparação e validação de arquivos de entrada para uso no simulador de qualidade do AR (CMAQ). [En línea] 2020.

Química Nova, 43 n° 10 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].
<https://www.scielo.br/j/qn/a/yd9qcZCQMPQjhGrtqvbGK7f/?lang=pt>

MAKAROVA, A., EVSTAF, E., LAPCHENCO, V. Y VARBANOV, P. Modelling tropospheric ozone variations using artificial neural networks: A case study on the Black Sea coast (Russian Federation) [En línea] 2021. *Cleaner Engineering and Technology*, 5 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821002536?via%3Dihub>

MANCHANDA, C., KUMAR, M., SINGH, V., FAISAL, M., HAZARIKA, N., SHUKLA, A., LALCHANDANI, V., GOEL, V., THAMBAN, N., GANGULY, D. Y TRIPATHI, S. Variation in chemical composition and sources of PM_{2.5} during the COVID-19 lockdown in Delhi. [En línea] 2021. *Environment International*, 153 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021001665>

MANRIQUE, E. La tutela del Estado frente a la contaminación ambiental, Lima, 2018 (Informe pregrado). Lima. Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55972>

MASAO, G., LIYUAN, Z., RUIFENG, Z. Y CHAK, K. Concluding remarks Faraday Discussion on air quality in megacities [En línea] 2021. *Royal Society of Chemistry*, 1 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/FD/D0FD90037K>

MESKHIDZE, N., SUTHERLAND, B., LING, X., DAWSON, K., JOHNSON, M., HERDERSON, B., HOSTETLER, C. Y FERRARE, R. Improving estimates of PM_{2.5} concentration and chemical composition by application of High Spectral Resolution Lidar (HSRL) and Creating Aerosol Types from chemistry (CATCH) algorithm [En línea] 2021. *Atmospheric Environment*, 250 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021000686>

MIRCEA, M., BESSAGNET, B., D'ISIDORO, M., PIROVANO, G., AKSOYOGLU, S., CIARELLI, G., TSYRO, S., MANDERS, A., BIESER, J., STERN, R., GARCÍA, M., CUVELIER, C., AAS, W., PRÉVOT, A., AULINGER, A., BRIGANTI, G., CALORI, G., CAPPELLETTI, A., COLETTE, A., FAGERLI, H., ROUÏL, L., SPINDLER, G.,

HERRMANN, H., TIITTA, P. Y CARBONE, S. EURODELTA III exercise: An evaluation of air quality models' capacity to reproduce the carbonaceous aerosol. [En línea] 2019. *Atmospheric Environment: X*, 2 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300218>

MORAWSKA, L., ZHU, T., LIU, N., AMOUEI, M., ANDRADE, M., BARRATT, B., BROOMANDI, P., BUONANNO, G., BELALCAZAR, L., CHEN, J., CHENG, Y., EVANS, G., GAVIDIA, M., GUO, H., HANIGAN, I., HU, M., JEONG, C., KELLY, F., GALLARDO, L., KUMAR, P., LYU, X., MULLINS, B., NORDSTROM, C., PEREIRA, G., QUEROL, X., ROJAS, N., RUSSELL, A., THOMPSON, H., WANG, H., WANG, L., WANG, T., WIERZBICKA, A., XUE, T., YE, C. The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis [En línea] 2021. *Environment International*, 156 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021003573?via%3Dihub>

MOREIRA, A. Air pollution in the environment by emissions of toxic gases of industrial companies in Ecuador. [En línea] 2018. *Polo del Conocimiento*, 3 n° 7 [Fecha de consulta: 18 de enero del 2022]. Disponible en <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/553>

MUHAMMAD, I. Air Quality Analyses for Photochemical Smog Associated with Atmospheric Aerosol Particles and Ozone Precursors Using CMAQ and CAMx Modeling Systems [En línea] 2019. *Journal IJSRST*, 6 n° 5 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <http://ijsrst.com/paper/6103.pdf>

NGUYEN, H. Y THI, O. Photochemical smog modeling of PM_{2.5} for assessment of associated health impacts in crowded urban area of Southeast Asia [En línea] 2021. *Environmental Technology & Innovation*, 21 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186420315418?via%3Dihub>

NIHAL, RATTAN, S., MANPREET, ANJALI, HARJOT, KUMAR, S., SHARMA, M., TRPATHI, S. Y GOSWAMY, J. Synthesis and characterization of Ag metal doped SnO₂, WO₃ and WO₃-SnO₂ for propan-2-ol sensing [En línea] 2021. *Results In*

Materials, 9 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590048X20300698?via%3Dihub>

NORDELOF, A., ROMARE, M. Y TIVANDER, J. Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel [En línea] 2019. *Transportation Research Part D*, 75 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919302792?via%3Dihub>

PAN, S., ROY, A., CHOI, Y., SUN, S. Y GAO, H. The air quality and health impacts of projected long-haul truck and rail freight transportation in the United States in 2050. [En línea] 2019. *Environment International*, 130 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019300376>

PEPE, N., PIROVANO, G., BALZARINI, A., TOPPETTI, A., RIVA, G., AMATO, F. Y LONATI, G. Enhanced CAMx source apportionment analysis at an urban receptor in Milan based on source categories and emission regions [En línea] 2019. *Atmospheric Environment: X*, 2 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300231>

PERCIVALLE, E., CLERICI, M., CASSANITI, I., VECCHIO, E., MARCHESE, P., OLIVATI, D., CATELLI, C., BERRI, A., BALDANTI, F., MARONE, P., BRUNO, R., TRIARICO, A. Y LAGO, P. SARS-CoV-2 viability on different surfaces after gaseous ozone treatment: a preliminary evaluation [En línea] 2021. *Journal of Hospital Infection*, 110 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. [https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701\(21\)00032-3/fulltext](https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701(21)00032-3/fulltext)

PEREIRA, N. Contribuciones de la Teoría Ambiental de Florence Nightingale a la prevención de la pandemia de COVID-19 [En línea] 2020. *Revista cubana de enfermería*, 36 n°2 [Fecha de consulta: 14 de marzo del 2022]. Disponible en <http://www.revenfermeria.sld.cu/index.php/enf/article/view/3702/578>

PREARRASTRE, I., POPOVIC, Z. Y GOTOVAC, A. Effects of meteorological variables on nitrogen dioxide variation [En línea] 2019. *Open Journal Systems*, 20

n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].
<https://doisrpska.nub.rs/index.php/arhivzatehnickenaauke/article/view/6110>

QU, M., CHENG, Z., SUN, Z., CHEN, D., YU, J. Y CHEN, J. Non-thermal plasma coupled with catalysis for VOCs abatement: A review. [En línea] 2021. *Process Safety and Environmental Protection*, 153 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582021003190>

RAJ, J. Quantifying the impact of cropland wind erosion on air quality: A high-resolution modeling case study of an Arizona dust storm [En línea] 2021. *Atmospheric Environment*, 263 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021004805>

RAM, S. Y NIHARIKA, S. Assessment of Variations and Correlation of Ozone and its Precursors, Benzene, Nitrogen Dioxide, Carbon monoxide and some Meteorological Variables at two Sites of Significant Spatial Variations in Delhi, Northern India [En línea] 2021. *Pollution*, 7 n° 3 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. https://jpoll.ut.ac.ir/article_82540.html

RAZA, W., SAID, S., HAMMAD, S., HAJERA, G., MOHAMED, S., SONNE, C., HIJO, Z., BROWN, R. Y KIM, K. A review on the deteriorating situation of smog and its preventive measures in Pakistan [En línea] 2021. *Journal of Cleaner Production*, 279 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620337215?via%3Dihub>

RONKKO, T., JALAVA, P., HAPPO, M., KASURINEN, S., SIPPULA, O., LESKINEN, A., KOPONEN, H., KUUSPALO, K., RUUSUNEN, J., VAISANEN, O., HAO, L., RUUSKANEN, A., ORASCHE, J., FANG, D., ZHANG, L., LEHTINEN, K., ZHAO, Y., GU, C., WANG, Q., JOKINIEMI, J., KOMPPULA, M. Y HIRVONEN, M. Emissions and atmospheric processes influence the chemical composition and toxicological properties of urban air particulate matter in Nanjing, China [En línea] 2018. *Science of the Total Environment*, 639 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718319120?via%3Dihub>

RUMAYOR, M., CORREDOR, J., RIVERO, M. Y ORTIZ, I. Prospective life cycle assessment of hydrogen production by waste photoreforming [En línea] 2022. *Journal of Cleaner Production*, 336 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622000762?via%3Dihub>

SALTHAMMER, T., SCHIEWECK, A., GU, J., AMERI, S. Y UHDE, E. Future trends in ambient air pollution and climate in Germany – Implications for the indoor environment [En línea] 2018. *Building and Environment*, 143 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231830458X?via%3Dihub>

SANGKHAM, S., THONGTIP, S. Y VONGRUANG, P. Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak. [En línea] 2021. *Environmental Research*, 197 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935121003984>

SCHMIDT, X., TOPRISKA, E., KOLOKOTRONI, M. Y AZAPAGIC, A. Environmental sustainability of renewable hydrogen in comparison with conventional cooking fuels [En línea] 2018. *Journal of Cleaner Production*, 196 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618316822?via%3Dihub>

SHAHROKHISHAHRABI, N., RAYNER, P., SILVER, J., THOMAS, S. Y SCHOFIELD, R. High-resolution modeling of gaseous air pollutants over Tehran and validation with surface and satellite data [En línea] 2022. *Atmospheric Environment*, 270 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021007032>

SHANGZHI, L., JUNCHENG, L., ZHIJIN, S., XIANGBAO, Z., YUPENG, Y., HONGPENG, W., YUFENG, P., SAMPAOLO, A., PATIMISCO, P. SPAGNOLO, V. Y DONG, L. Compact quartz-enhanced photoacoustic sensor for ppb-level ambient NO₂ detection by use of a high-power laser diode and a grooved tuning fork [En

línea] 2022. *Photoacoustics*, 25 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213597921000835?via%3Dihub>

SHEHZADI, R., MUGHAL, T., ABBAS, M., ABRAR, A. Y ABBAS, A. Investigating The Temporal Variation in the Frequency of Smog Precursors in the Ambient Air of Lahore [En línea] 2021. *Research Square*, 1 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.researchsquare.com/article/rs-331509/v1>

SHON, Z., KANG, M., PARK, G. Y BAE, M. Impact of temporary emission reduction from a large-scale coal-fired power plant on air quality. [En línea] 2020. *Atmospheric Environment: X*, 5 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300590>

SHOTE, A., BETIKU, E. Y ASERE, A. Characteristics of CO and NO_x emissions from combustion of transmethylated palm kernel oil-based biodiesel blends in a compression ignition engine [En línea] 2019. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 31 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363917301484> .

SLORACH, P., JESWANI, H., CUÉLLAR, R. Y AZAPAGIC, A. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste [En línea] 2019. *Journal of Environmental Management*, 236 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719301422?via%3Dihub>

SPIRO, D., KALLIOPI, F., CHRISTOS, K., KODROS, J., VASILAKOPOULOU, C., CIRTOGS, M., FOUQUEAU, A., PICQUET, B., NENES, A. Y SPYROS, P. Nighttime chemistry of biomass burning emissions in urban areas: A dual mobile chamber study [En línea] 2021. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://acp.copernicus.org/articles/21/15337/2021/>

SUN, N., NIU, Y., ZHANG, R., HUANG, Y., WANG, J., QIU, W., ZHANG, X., HAN, Z., BAO, J., ZHU, H., DUAN, Y. Y KAN, H. Ozone inhalation induces exacerbation

of eosinophilic airway inflammation and Th2-skew immune response in a rat model of AR studies [En línea] 2021. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 137 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0753332221000469?via%3Dihub>

SYNAK, F., SYNAK, J. Y SKRUCANY, T. Assessing the addition of hydrogen and oxygen into the engine's intake air on selected vehicle features [En línea] 2021. *International Journal of Hydrogen energy*, 46 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921027051?via%3Dihub>

THIND, M., HEATH, G., ZHANG, Y. Y BHATT, A. Characterization factors and other air quality impact metrics: Case study for PM2.5-emitting area sources from biofuel feedstock supply [En línea] 2022. *Science of the Total Environment*, 822 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722005101>

THUNIS, P., CLAPPIER, A., TARRASON, L., CUVELIER, C., MONTEIRO, A., PISONI, E., WESSELING, J., BELIS, C., PIROVANO, G., JANSSEN, S., GUERREIRO, C. Y PEDUZZI, E. Source apportionment to support air quality planning: Strengths and weaknesses of existing approaches. [En línea] 2019. *Environment International*, 130 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019301539>

ULUTAS, K., ABUJAYYAB, S. Y ABU, S. Evaluation of the major air pollutants, levels, temporal changes and interactions with meteorological variables in Ankara [En línea] 2021. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 n° 4 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1777372>

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO. Guía de Elaboración del Trabajo de Investigación y Tesis para la obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales (Informe técnico) Lima. Universidad César Vallejo, 2022. Disponible en <https://es.slideshare.net/AngelManchayCalvay3/gua-de-elaboracin-de-trabajos-de-investigacin-ucv>

WANG, Z., LI, J., MU, X., ZHAO, L., GU, C., GAO, H., MA, J., MAO, X. Y HUANG, T. A WRF-CMAQ modeling of atmospheric PAH cycling and health risks in the heavy petrochemical industrialized Lanzhou valley, Northwest China [En línea] 2021. *Journal of Cleaner Production*, 291 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621002092?via%3Dihub>

XIAOJU, L., SITI, H., SHAFREEZA, S. Y MOHAMAD, S. Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China [En línea] 2021. *Chemosphere*, 271 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520337000?via%3Dihub>

XU, W., ZHANG, G., WANG, Y., TONG, S., ZHANG, W., MA, Z., LIN, W., KUANG, Y., YIN, L. Y XU, X. Aerosol Promotes Peroxyacetyl Nitrate Formation during Winter in the North China Plain [En línea] 2021. *Environmental Science & Technology*, 55 n° 6 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.0c08157>

YANG, E. Y LUNG, S. Study on Air Pollution Behavior of VOCs with Photochemical Monitoring Stations Using EGARCH Model in Southern Taiwan [En línea] 2021. *Atmosphere*, 12 n° 9 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/9/1167>

YANG, X., WU, Q., ZHAO, R., CHENG, H., HE, H., MA, Q., WANG, L. Y LUO, H. New method for evaluating winter air quality: PM_{2.5} assessment using Community Multi-Scale Air Quality Modeling (CMAQ) in Xi'an [En línea] 2019. *Atmospheric Environment*, 211 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231019302341>

YANG, Y., WANG, Y., HUANG, W., YAO, D., ZHAO, S., WANG, Y., JI, D., ZHANG, R. Y WANG, Y. Parameterized atmospheric oxidation capacity and speciated OH reactivity over a suburban site in the North China Plain: A comparative study between summer and winter [En línea] 2021. *Science of the Total Environment*, 773 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721003302?via%3>

[Dihub](#)

YONGHUA, W., KAIHUI, Z., JIANPING, H., MARK, A., BARRY, G. Y FRED, M. Observation of heat wave effects on the urban air quality and PBL in New York City area [En línea] 2019. *Atmospheric Environment*, 218 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231019306636?via%3>

[Dihub](#)

YOUNG, B., KRYNOCK, M., CARLSON, D., HAWKINS, T., MARRIOTT, J., MORELLI, B., JAMIESON, M., COONEY, G. Y SKONE, T. Comparative environmental life cycle assessment of carbon capture for petroleum refining, ammonia production, and thermoelectric power generation in the United States [En línea] 2019. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 91 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S175058361830817X?via%3Dih>

[ub](#)

YU, Y., WANG, H., WANG, T., SONG, K., TAN, T., WAN, Z., GAO, Y., DONG, H., CHEN, S., ZENG, L., HU, M., WANG, H., LOU, S., ZHU, W. Y GUO, S. Elucidating the importance of semi-volatile organic compounds to secondary organic aerosol formation at a regional site during the EXPLORE-YRD campaign. [En línea] 2021. *Atmospheric Environment*, 246 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020307755>

ZHANG, T., XIAO, S., WANG, X., ZHANG, Y., PEI, C., CHEN, D., JIANG, M. Y LIAO, T. Volatile Organic Compounds Monitored Online at Three Photochemical Assessment Monitoring Stations in the Pearl River Delta (PRD) Region during Summer 2016: Sources and Emission Areas [En línea] 2021. *Atmosphere*, 12 n° 3 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. [https://www.mdpi.com/2073-](https://www.mdpi.com/2073-4433/12/3/327)

[4433/12/3/327](https://www.mdpi.com/2073-4433/12/3/327)

ZHANG, Y., PENG, Y., SONG, W., ZHANG, Y., PONSAWANSONG, P., PRAPAMONTOL, T. Y WANG, Y. Contribution of brown carbon to the light absorption and radiative effect of carbonaceous aerosols from biomass burning

emissions in Chiang Mai, Thailand. [En línea] 2021. *Atmospheric Environment*, 260 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021003666>

ZOHDIRAD, H., JIANG, J., AKSOYOGLU, S., MONTAZERI, M., ASHRAFI, K. Y PRÉVOT, A. Investigating sources of surface ozone in central Europe during the hot summer in 2018: High temperatures, but not so high ozone. [En línea] 2022. *Atmospheric Environment*, 279 n° 1 [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231022001649>

ZORAN, M., SAVASTRU, R., SAVASTRU, D. Y TAUTAN, M. Assessing the relationship between ground levels of ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy [En línea] 2020. *Science of the Total Environment*, 740 n° 1 [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720335257?via%3Dihub>

[b](#)

ANEXOS

Anexo 1 Guía de análisis documental

N°	Artículo	Autores	Año	Diseño y nivel de estudios	Elemento analizado	Principales resultados
1	Enhanced CAMx source apportionment analysis at an urban receptor in Milan based on source categories and emission regions	Pepe et al.	2019	Diseño no experimental, descriptivo	Componente químico	Pepe et al. (2019), expusieron que el modelo de simulación camx en la ciudad de Milán, permitió la evaluación de NO ₂ , PM _{2.5} , así como otros componentes primarios y secundarios causantes del smog fotoquímico, los mismos que fueron reportados por separado. Además, los resultados pusieron en evidencia que el área metropolitana contó con el 60% de PM _{2.5} de masa total, mientras que en áreas lejanas y debido al transporte de largo alcance se determinó la mayor contribución de concentración de NO ₃ . Igualmente, establecieron que el NO ₂ es liberado por los procesos de combustión antropogénicos en temperatura elevada. Además, es considerado como una principal causa que origina al smog fotoquímico y lluvia ácida.
2	Nighttime chemistry of biomass burning emissions in urban areas: A dual mobile chamber study	Spiro et al.	2021	Experimental, descriptiva.	Fuentes Equipos	Spiro et al. (2021), manifestaron que la quema de biomasa es una principal fuente de aerosol orgánico, no obstante, la emisión de esta presentaba impactos en la salud de las personas y en el medio ambiente. Además, se determinó que el proceso atmosférico de aerosol orgánico que quema biomasa en periodos de baja actividad fotoquímica ha recibido menor atención que el proceso fotoquímico. Sin embargo, las mediciones ejecutadas indicaron que la oxidación nocturna de COV respecto a la quema de biomasa es dominada por NO ₃ . Asimismo, los autores resaltaron la importancia del sistema de doble cámara, ya que permitió cuantificar las transformaciones químicas de las emisiones de

						la quema de biomasa, posterior a haber sido diluidas y mezcladas en el aire.
3	High-resolution modeling of gaseous air pollutants over Tehran and validation with surface and satellite data	Shahrokhishahraki et al.	2022	Diseño descriptivo	Componente químico	Shahrokhishahraki et al. (2022), indicaron que el modelo CMAQ contribuyó en el estudio a determinar las emisiones y concentraciones disponibles en una ciudad, durante un periodo de tiempo, de tal forma que, se alcanzó a estimar las mediciones de componentes como el NO ₂ , CO y O ₃ , además de capturar las variaciones diurnas de los mismos componentes, los cuales fueron considerados como los causantes del smog fotoquímico en la ciudad. Igualmente se sostuvo que el modelo WRF empleaba condiciones topográficas para calcular la física y dinámica en la atmosfera y así preparar los datos meteorológicos para el CMAQ. No obstante, los autores afirmaron que el modelo captó mejor el ciclo diurno de los componentes en las estaciones más frías.
4	Integration of Weather Research and Forecasting (WRF) model with regional coastal ecosystem model to simulate the hypoxic conditions	Ali et al.	2021	Experimental	Componente químico	Ali et al. (2021), afirmaron que el modelo WRF fue desarrollado para simular los distintos procesos biológicos, químicos y físicos en una región, demostrando haber sido una herramienta eficaz, ya que los datos registrados por el modelo determinaron que se produjo más del 80% de variación sobre el oxígeno disuelto.
5	New method for evaluating winter air quality: PM2.5 assessment using Community Multi-Scale Air Quality Modeling (CMAQ) in Xi'an	Yang et al.	2019	Descriptivo	Modelo	Yang et al. (2019), señalaron que el modelo WRF-CMAQ ha sido utilizado por muchos años en la ciudad Xi'an, debido a que ha sido muy útil para el pronóstico diario sobre la calidad de aire de la misma ciudad. Asimismo, el modelo ha ayudado a medir un componente que genera el smog fotoquímico, el PM _{2.5} el cual alcanza un valor mayor a 0.58, que con el pasar de los años ha mostrado cambios lo cual ha sido causado por las condiciones

						desfavorables de difusión del aire. Igualmente, se han visualizado aumentos de las concentraciones de PM10 De 95.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 110.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el PM _{2.5} de 82.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 95.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
6	Analysis of spatial factors, time-activity and infiltration on outdoor generated PM2.5 exposures of school children in five European cities	Karhonen et al.	2021	Experimental	Modelo	Karhonen et al. (2021), manifestaron que el modelo WRF-camx evaluó las concentraciones de PM2.5, donde los niveles frente al tráfico vehicular, así como al aire libre fueron más elevados, alcanzando entre el 80% hasta el 84% de exposición de partículas al aire libre. Por lo mismo que se dedujo que los niveles de exposición al exterior de PM2.5 llegaron hasta 1.8 veces y la exposición al tráfico alcanzó hasta 2 veces más frente a una condición microambiente en interiores.
7	Changes in ozone and PM2.5 in Europe during the period of 1990–2030: Role of reductions in land and ship emissions	Jiang et al.	2020	Experimental, descriptiva	Fuente	Jiang et al. (2020), señalaron que las emisiones producidas por los transportes vehiculares y marítimos ha conllevado a que se genere contaminación en el aire, no obstante, el modelo camx surgió como una herramienta para analizar los efectos de estas emisiones, evaluar los niveles de ozono y de otros componentes. Además, estudios han demostrado que en los últimos años hubo una disminución del 56 % (6.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las concentraciones de PM _{2.5} de 1990 a 2030 según la legislación actual, debido a una gran caída en el sulfato, mientras que el modelo permitió pronosticar que las concentraciones de nitrato disminuirían a un ritmo creciente, por consiguiente, es posible corroborar que el uso de diversos modelos son fundamentales ya que sirven para analizar los componentes que conducen al smog fotoquímico, el mismo que es considerado perjudicial para la salud humana.

8	Quantifying the impact of cropland wind erosion on air quality: A high-resolution modeling case study of an Arizona dust storm	Raj	2021	Experimental	Factores meteorológicos	Raj (2021), expusieron que el modelo CMAQ fue empleado para realizar una simulación respecto al ciclo atmosférico sobre los componentes y también para llevar a cabo la evaluación de la calidad del aire de una ciudad localizada en el sur central de Arizona, alcanzando como resultado que las concentraciones de PM se hallaron razonablemente bien, más aún en el área de Phoenix.
9	Characterization factors and other air quality impact metrics: Case study for PM2.5-emitting area sources from biofuel feedstock supply	Thind et al.	2022	Descriptivo	Fuentes	Thind et al. (2022), sostuvieron que el PM _{2.5} es uno de los componentes secundarios que tienden a originar el smog fotoquímico, el cual es dañino para los seres humanos, y para el análisis de las concentraciones del PM _{2.5} en una ciudad de EE. UU, se realizó un estudio con el uso del modelo CTM, que, a pesar de haber presentado cierta complejidad, en cuanto requiere de mayor tiempo y de más recursos, este fue el modelo más oportuno que permitió realizar una evaluación de la calidad del aire.
10	Better prediction of surface ozone by a superensemble method using emission sensitivity runs in Japan	Kajino et al.	2021	Experimental	Factores meteorológicos	Kajino et al. (2021), han establecido que además de las reacciones fotoquímicas y emisiones también las condiciones meteorológicas (radiación solar y campos de viento) tienden a perjudicar la concentración de O ₃ . Igualmente, los autores resaltaron la importancia del uso de los modelos de medición de calidad del aire para analizar las concentraciones de los componentes que conducen al smog fotoquímico.
11	Advances in air quality modeling and forecasting	Baklanov y Zhang	2020	Descriptivo, experimental	Componentes químicos Factores meteorológicos	Baklanov y Zhang (2020), manifestaron que el modelo CTM es uno de los más usados debido a que favorece a brindar un pronóstico de la calidad del aire en tiempo real, en el estudio realizado ayudó evaluar las emisiones y concentraciones de PM _{2.5} y O ₃ , así como el

						SO ₂ , COV, y otros componentes que dependen de la meteorología, poniendo en evidencia que se necesitan de más esfuerzos en cuanto al monitoreo de las emisiones y métodos inteligentes para realizarlo. Igualmente, indicaron que los COV fueron contaminantes que representaron significativos riesgos en la salud de las personas. Además, fueron causantes del smog fotoquímico y conducen a efectos como calentamiento global, lluvia ácida y contaminación del medio ambiente.
12	Evaluation of receptor and chemical transport models for PM10 source apportionment	Belis et al.	2020	Descriptivo	Componentes químicos	Belis et al. (2020), argumentaron que al haber hecho uso del modelo CTM se alcanzó a visualizar que los resultados de la evaluación de las concentraciones de los diferentes componentes varió en base a la fuente, donde la fuente tráfico y la fuente industria fueron las que presentaron mejores resultados. Asimismo, se logró demostrar que las PM alcanzaron elevadas concentraciones frente a otros componentes, por lo cual este fue considerado como uno de los principales promotores de la contaminación en el aire.
13	Improving estimates of PM2.5 concentration and chemical composition by application of High Spectral Resolution Lidar (HSRL) and Creating Aerosol Types from chemistry (CATCH) algorithm	Meskhidze et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos	Meskhidze et al. (2021), sostuvieron que a nivel mundial se continúan haciendo esfuerzos para mejorar los niveles de PM _{2.5} , así como de otros componentes que conducen al origen del smog fotoquímico, por ello, la propuesta del modelo CMAQ es considerada fundamental ya que dirige hacia una mejora de las predicciones de calidad del aire y determinar la composición química del mencionado componente.
14	A WRF-CMAQ modeling of atmospheric PAH cycling and health risks in the heavy petrochemical industrialized	Wang et al.	2021	Descriptivo	Fuentes Modelos	Wang et al. (2021), indicaron que las ciudades que cuentan con industrias pesadas, así como industrias petroquímicas contribuyeron a que se originen fuertes emisiones atmosféricas de PAH, en ese contexto, es que, en 1970 en

	Lanzhou valley, Northwest China					China, estas industrias causaron por primera vez el smog fotoquímico. Por otro lado, mencionaron que el modelo CMAQ fue un sistema de transporte y también de química atmosférica tridimensional que posibilitaron el simular el material particulado, además de los contaminantes tóxicos que se encuentran en el aire, ozono. Mientras que el modelo WRF proporcionó un campo meteorológico que permite impulsar el modelo CMAQ.
15	Revealing the impacts of transboundary pollution on PM2.5-related deaths in China	Liu et al.	2020	Experimental, Descriptivo	Componentes químicos	Liu et al. (2020), sostuvieron que una de las fuentes que conlleva al origen del smog fotoquímico es el tráfico vehicular en las ciudades, lo cual también produce impactos significativos en la salud humana, sin embargo, estudios realizados en China han demostrado que el componente PM _{2.5} ha sido el causante del 9.60% de muertes, y con el uso del modelo CMAQ y el WRF, se pudo estimar la contaminación en el aire durante el invierno alcanzó un promedio de 3.7 µg/m ³ , mientras que en el verano solo alcanzó una concentración promedio de 0.5 µg/m ³ .
16	Modeling air quality in the San Joaquin valley of California during the 2013 Discover-AQ field campaign	Chen et al.	2020	Descriptiva	Componentes químicos	Chen et al. (2020), expusieron que el Valle de San Joaquín en California cuenta con una alta contaminación invernal de PM _{2.5} en todo el país, y haciendo uso de WRF y CMAQ se logró observar la acumulación de concentraciones máximas de 70 µg/m ³ , asimismo, se visualizó que el nitrato de amonio presentó un incremento matutino. De modo que, el modelo fue considerado capaz de hacer la simulación de la formación elevada por PM _{2.5} durante la estación de invierno. Además, los PM _{2.5} actúan como uno de los componentes principales de smog, y los elevados niveles del mismo han generado gran preocupación en diferentes ciudades siendo perjudiciales debido a que se

						asocian a efectos negativos en la salud, al acumularse en el sistema respiratorio.
17	Variation in chemical composition and sources of PM2.5 during the COVID-19 lockdown in Delhi	Manchanda et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos Fuentes	Manchanda et al. (2021), afirmaron que la utilización del modelo camx contribuye considerablemente en la cuantificación de los componentes, es así que, en la ciudad de India, este permitió observar el acrecentamiento en las concentraciones de O ₃ , así como la disminución de los niveles de NO _x , estos resultados fueron considerados esenciales en cuanto proporcionan una base para el posible desarrollo de estrategias enfocadas en el control de las emisiones.
18	Urban pollution in the Danube and Western Balkans regions: The impact of major PM2.5 sources	Belis et al.	2019	Diseño descriptivo	Componentes químicos	Belis et al. (2019), expusieron que el modelo CTM juega un rol importante, ya que es un receptor que encamina a un mayor entendimiento de los impactos y evaluación de las concentraciones de los componentes que producen el smog. Asimismo, señalaron que los niveles de PM _{2.5} sobre el área de estudio de Danubio y Balcanes Occidentales fueron atribuidas a la producción de energía con una representatividad del 22%, también fue causado por la agricultura en un 19%, transporte de carretera con un 7% y combustión residencial con el 16%, reflejando que la producción de energía de las centrales eléctricas ineficientes fueron la principal fuente de PM _{2.5} , por ende, el principal causante de la contaminación. Sin embargo, también se indicó que la combustión de biomasa proveniente de electrodomésticos ineficientes también presentó una participación significativa. Los PM _{2.5} provocan la neblina de smog y simbolizan una amenaza para la salud, además, su principal fuente de los PM _{2.5} son la quema de biomasa, y combustión de carbón, la emisión vehicular e industriales.

19	Improvement of summertime surface ozone prediction by assimilating Geostationary Operational Environmental Satellite cloud observations	Cheng et al.	2022	Descriptivo	Componentes químicos	Cheng et al. (2022), manifestaron que con ayuda de la técnica o modelo WRF que posibilita hacer una simulación de las condiciones atmosféricas, se alcanzó a tener una entrada al modelo CMAQ, el cual determinó que la asimilación de las nubes favoreció a la predicción del ozono superficial durante el día, visualizándose una cuantiosa mejora en la región sureste de EE.UU. Igualmente, los autores expresaron que el ozono representa un gran desafío en lo que se refiere a la calidad del aire, debido a que es producido por medio de complejas reacciones fotoquímicas que requieren de luz solar, así como de los precursores de ozono y NOx. Además, han expuesto que el smog fotoquímico, por la presencia de componentes químicos (NO, NO ₂ , entre otros) representa un peligro para la salud humana, ya que dirige a problemas como reducción de la capacidad pulmonar e incluso cáncer.
20	Investigating sources of surface ozone in central Europe during the hot summer in 2018: High temperatures, but not so high ozone	Zohdirad et al.	2022	Experimental	Componentes químicos	Zohdirad et al. (2022), señalaron que el clima, así como las emisiones cambiantes han encaminado a la formación de ozono y hoy en día las condiciones meteorológicas y fuentes del ozono resultan ser muy inciertas, por ello, el estudio realizado en Europa central durante la estación de verano con el uso del modelo camx, ayudó en la simulación de las emisiones e identificar los efectos de estas, determinando así que durante el verano existe mayor nivel de ozono superficial, igualmente se consideró que la reducción de este se encuentra relacionado a la disminución de las emisiones antropogénicas. Por otro lado, se indicó que gran parte de las fuentes de ozono troposférico en Europafueron las condiciones de contorno, el tráfico y las emisiones biogénicas.

21	Source apportionment to support air quality planning: Strengths and weaknesses of existing approaches	Thunis et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos	Thunis et al. (2019), sostuvieron que el uso de los diversos modelos existentes para evaluar la contaminación y los componentes intervinientes simbolizan un gran paso para la gestión de la calidad del aire, debido a que permite establecer medidas que ayuden a controlar o mitigar dicha contaminación. De modo que, en la investigación realizada con la aplicación del modelo conocido como CAMx, se pudo analizar las concentraciones del compuesto secundario PM _{2.5} , así como de sus precursores. Además, se consideró que los resultados alcanzados con los métodos son convenientes, pero es recomendable evaluar minuciosamente la aplicación de estos, de modo que en los estudios se avale su correcto desarrollo.
22	Photochemical Smog Modelling Using the Air Pollution Chemical Transport Model (TAPM-CTM) in Ho Chi Minh City, Vietnam	Bang et al.	2018	Descriptivo	Modelos	Bang et al. (2018), indicaron que el modelo TAPM-CTM involucró un componente meteorológico de pronóstico, así como un componente fotoquímico, que permitió el estudio de calidad del aire y el alcance de contaminación. De igual manera, este modelo proporcionó diversos tipos de emisiones de los contaminantes, de modo que estos son utilizados como entrada para el modelo. Por otro lado, los resultados demostraron que este modelo es apropiado para contar con una simulación del proceso fotoquímico para una cuenca atmosférica en un tiempo establecido.
23	Nitrogen burden from atmospheric deposition in East Asian oceans in 2010 based on high-resolution regional numerical modeling	Itahashi et al.	2021	Descriptivo	Modelos	Itahashi et al. (2021), manifestaron que para la ejecución del modelo CMAQ para la evaluación de las emisiones de nitrógeno en el este de Asia, primero se tuvo que recurrir a la simulación de los campos meteorológicos por medio del modelo WRF, asimismo la aplicación de los modelos tuvo una duración de un año, y estos fueron considerados de gran utilidad y

						recomendados para los estudios enfocados en el análisis de diversos componentes.
24	Photochemical smog modeling of PM _{2.5} for assessment of associated health impacts in crowded urban area of Southeast Asia	Nguyen y Thi	2020	Exploratorio	Componentes químicos Fuentes Modelos	Nguyen y Thi (2020), han señalado que el PM o PM _{2.5} son contaminantes del aire, a los cuales se les otorga mayor atención por sus efectos perjudiciales en la salud y para el ecosistema. Asimismo, establecieron que el tráfico vehicular en las ciudades es la principal fuente que originan PM y más contaminantes. De igual manera, hicieron uso de los modelos WRF que es un modelo meteorológico y el modelo camx que es fotoquímico, indicaron que el primer modelo se diseñó para la ejecución de indagaciones atmosférica y para la predicción (temperatura, vapor de agua, velocidad, dirección de viento, etc.), mientras el segundo modelo favorece a la identificación de la calidad de aire.
25	The air quality and health impacts of projected long-haul truck and rail freight transportation in the United States in 2050	Pan et al.	2019	Descriptivo y exploratorio	Factor meteorologico	Pan et al. (2019), señalaron que el transporte simboliza una de las actividades con gran amenaza para la salud pública, lo cual es atribuido a las emisiones del mismo, sin embargo, también tiende a generar grandes impactos sobre la calidad del aire. En tal sentido, se realizó un estudio en EE. UU, haciendo uso del modelo WRF y CMAQ para alcanzar a cuantificar los impactos del cambio de emisiones de partículas finas sobre la calidad del aire, así como en la salud, se alcanzó a evidenciar que las reducciones de las concentraciones de PM _{2.5} fueron logradas en el este del país y los valores fueron equivalentes a 1–1.5 µg/m ³ , igualmente se visualizó que el factor que contribuyó a estos resultados fue vinculado a las temperaturas de la zona evaluada.

26	Uncertainty analysis of modeled ozone changes due to anthropogenic emission reductions in Eastern Texas	Dunker et al.	2022	Descriptivo	Componentes químicos Fuentes	Dunker et al. (2022), indicaron que llevaron a cabo un estudio para establecer si un modelo de calidad de aire favorece en la predicción de las concentraciones de O ₃ en Texas, y se expuso que se mantenían concentraciones equivalentes a ≥65 ppb. Asimismo, se señaló que el modelo CTM es fundamental, en cuanto presenta gran viabilidad para predecir las concentraciones de O ₃ y PM _{2.5} u otros componentes, dirigiendo a la probabilidad de elaborar una estrategia de control para lograr los resultados deseados.
27	Study on Air Pollution Behavior of VOCs with Photochemical Monitoring Stations Using EGARCH Model in Southern Taiwan	Yang y Lung	2021	Descriptivo	Componentes químicos Modelos	Yang y Lung (2021), han manifestado que los COV son sustancias químicas que son liberados a partir de material sólido o líquido en forma de gas y son los principales causantes de la formación de partículas y también del ozono, los mismos que originan el smog fotoquímico. De igual manera, los autores señalaron que la aplicación del modelo EGARCH permite predecir las varianzas condicionales a través de la inclusión de variables ficticias. Además, el mencionado modelo es considerado idóneo por su misma capacidad de predicción al evaluar contaminantes presentes en el aire.
28	Measured and modelled ozone photochemical production in the Baltimore-Washington airshed	Hembeck et al.	2019	Experimental	Modelos	Hembeck et al. (2019), han indicado que los modelos de calidad de aire como el CMAQ se centraron en la parametrización del smog fotoquímico, por ello, el uso del modelo en mención resultó ser una herramienta esencial para establecer estrategias que posibiliten el alcance de los estándares de O ₃ sobre la superficie.
29	The effect of selected meteorological factors on the	Czerwinska y Wielgosinski	2020	Descriptivo	Factor meteorológico	Czerwinska y Wielgosinski (2020), han determinado que los elevados niveles de contaminación en el aire, durante la temporada

	process of “Polish smog” formation.					de invierno se debieron a las partículas suspendidas y su concentración tiende a reducirse con el incremento de la temperatura del aire y aumenta con la presión atmosférica. Además, las concentraciones de PM tienden a disminuir con el incremento de la temperatura del aire.
30	Stubble burning: Effects on health & environment, regulations and management practices	Absurrahman et al.	2020	Exploratorio	Fuentes	Absurrahman et al. (2020), sostuvieron que la biomasa es considerada como una de las fuentes que contribuye a la generación del smog fotoquímico a nivel mundial, además de ser fuente de CO, estimando que alrededor de 33.9 Tg de CO y 8 Tg de BC son emitidas anualmente. Con una equivalencia del 74% y 42% respectivamente. Por lo cual, para realizar los estudios de esta fuente, los investigadores acudieron a la implementación de una cámara de simulación para establecer la composición química de aerosoles para la quema de biomasa, afirmando que el 50% de la masa del aerosol se compone de carbono orgánico y de solo el 11% de carbón negro, mientras que el porcentaje restante está compuesto por sales inorgánicas solubles en agua, así como de otros constituyentes minoritarios.
31	Contribution of brown carbon to the light absorption and radiative effect of carbonaceous aerosols from biomass burning emissions in Chiang Mai, Thailand	Zhang et al.	2021	Exploratorio	Fuentes	Zhang et al. (2021), determinaron que la ciudad Chiang Mai siempre ha sufrido de contaminación y de una neblina que se vincula a la quema de biomasa en los días secos que corresponden a la temporada de febrero hasta abril, no obstante los estudios de este problema son limitados, por ende, con el uso del modelo CTM, se buscó indagar sobre el efecto radiactivo de aerosoles de la quema de biomasa, considerando las fuentes de brc (carbón marrón), así como la combustión de biocombustible, concluyendo que el brc contribuyó en la absorción de CA entre el 33 al

						40% y el BC favoreció a la absorción entre 60 a 67%, durante la estación seca.
32	EURODELTA III exercise: An evaluation of air quality models' capacity to reproduce the carbonaceous aerosol	Mircea et al.	2020	Exploratorio, descriptivo	Componentes químicos	Mircea et al. (2019), afirmaron que para el análisis de los aerosoles (SOA), que forman parte de los componentes que generan el smog fotoquímico, se hizo uso del modelo CTM, así como otros modelos que posibilitan la evaluación de la calidad del aire, el estudio evidenció que todos los modelos alcanzan a capturar significativamente los ciclos diarios de SOA durante las diferentes estaciones, sobre todo por la resolución espacial empleada durante las simulaciones. Igualmente, se visualizó que en el modelo camx se alcanzó medidas del 30%, y se observó que los sesgos de los modelos variaron de $-2.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $-0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el modelo CMAQ. Además, señalaron que el origen de SOA se da mediante procesos en la atmosfera, igualmente, son producidos por reacciones homogéneas y heterogéneas y envejecimiento de aerosoles primarios de la atmosfera. Además, generan impacto en las modificaciones de las propiedades de la calidad de aire y en las nubes.
33	A large-scale outdoor atmospheric simulation smog chamber for studying atmospheric photochemical processes: Characterization and preliminary application	Junling et al.	2021	Exploratorio	Modelos	Junling et al. (2021), demostraron que, a nivel internacional a efecto de lograr un estudio de procesos químicos sobre la contaminación del aire, se han incorporado cámaras de smog que permiten analizar los mecanismos químicos dentro de la fase gaseosa atmosférica. Asimismo, posibilitan el estudio de formación y evolución de los contaminantes en la atmosfera y con ello controlar las condiciones meteorológicas, así como las composiciones de reactivos. En ese marco, la cámara CRAES es idónea para simular procesos fotoquímicos atmosféricos bajo las condiciones de un entorno atmosférico real.

34	Volatility of Springtime ambient organic aerosol derived with thermodenuder aerosol mass spectrometry in Seoul, Korea	Kang et al.	2022	Descriptivo	Componentes químicos	Kang et al. (2022), argumentaron que la modelación de la calidad de aire representa un mecanismo eficaz para establecer tanto evaluaciones como predicciones, analizar las concentraciones y sobre todo en tiempo real, en base a ello, los autores emplearon los modelos conocidos como WRF- CAMx y CMAQ para conseguir la predicción de la formación de ciertos componentes como PM y del aerosol orgánico (OA), por otro lado el uso de los modelos favoreció la medición de la volatilidad del OA, hallando que una gran fracción de masa orgánica se encontró en rango bajo o semi volátil
35	The impact of power generation emissions on ambient PM2.5 pollution and human health in China and India	Gao et al.	2018	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos Fuentes	Gao et al. (2018), sostuvieron que a causa de las industrias tanto en China como en India es que se producen gran cantidad de PM y sus precursores, lo cual genera riesgos en la salud de la población y contaminación. Por ello, se realizó un estudio con el modelo WRF para cuantificar el impacto de emisiones y a partir de ello identificar estrategias para su mitigación, dichas evaluaciones mostraron que el modelo funciona razonablemente bien, y se observaron medidas extremadamente altas en los meses de invierno y bajas durante el verano, este último se atribuyó a la humedad propia en el modelo. También el valor R2 para China fue elevado y equivalente a 0.87. Además, se estimó que 15 millones de vidas perdidas se pueden evitar en China y 11 millones en India, al reducir o eliminar las emisiones que suelen producirse como consecuencia de las actividades desarrolladas en las industrias.
36	Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel	Nordelof et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos	Nordelof et al. (2019), expusieron que han señalado que el smog fotoquímico conlleva a la aparición de contaminantes secundarios, que estos frente a pocos vientos, la luz solar

						conduce a que ciertos componentes tengan reacción y provoquen ozono. El estudio realizado determinó que los factores mencionados provocaran que el nox, así como COV tengan reacción y originen ozono
37	Air Quality Analyses for Photochemical Smog Associated with Atmospheric Aerosol Particles and Ozone Precursors Using CMAQ and CAMx Modeling Systems	Muhammad	2019	Descriptivo	Modelos	Muhammad (2019), mencionó que diversas organizaciones en la actualidad están haciendo uso de modelos fotoquímicos que contribuyen a la evaluación de la efectividad de estrategias de control, entre los más utilizados se encuentran los modelos CAMx y CMAQ, que predicen y determinan las condiciones fotoquímicas en la calidad del aire, además de evaluar la contaminación gaseosa.
38	Impact of temporary emission reduction from a large-scale coal-fired power plant on air quality	Shon et al.	2020	Descriptivo	Componentes químicos	Shon et al. (2020), expusieron que con el modelo CMAQ se analizó el impacto de PM _{2.5} en la ciudad de Corea del Sur, el mismo que es provocado por las actividades de las industrias. El método fue utilizado sobre la base de un análisis de cambios de parámetros meteorológicos como la temperatura y la humedad relativa, obteniendo como resultado que la reducción de las emisiones de las industrias fue consecuencia de una reducción en las concentraciones de PM _{2.5} y de otros principales componentes inorgánicos. Igualmente, se visualizó que la concentración de PM _{2.5} , del SO ₂ y NO _x redujeron en 2.5 µg/m ³ (8.1 %), 0.7 ppb (11.3 %) y 1.6 ppb (6.1 %), respectivamente.
39	Observation of heat wave effects on the urban air quality and PBL in New York City area	Yonghua et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos	Yonghua et al. (2019), con la ejecución de su estudio buscaron cuantificar los efectos del calor sobre la calidad de aire, por ello, recurrieron al modelo CMAQ para establecer un pronóstico de la calidad del aire durante los días de calor en Nueva York, lo cual no ha sido antes evaluado. Igualmente, los resultados

						<p>indicaron que en días cálidos y húmedos se tienden a producir más partículas finas (PM_{2.5}), esto mediante la reacción de oxidación fotoquímica, que son referidas como especies inorgánicas secundarias y SOA. Por ende, señalan que el calor y contaminación del aire, son considerados factores estresantes que originan impactos perjudiciales para la salud. Además, se obtuvieron valores de O₃ equivalentes a 110 ppb y concentraciones de PM_{2.5} que incrementaban de 5 µg/m³ a 25 microgramos/m³, también se observó un aumento de formación secundaria de aerosoles entre el 52 al 58%.</p>
40	Ozone inhalation induces exacerbation of eosinophilic airway inflammation and Th2-skew immune response in a rat model of AR	Fukusaki et al.	2021	Experimental	Fuentes	<p>Fukusaki et al. (2021), señalaron que tanto la reactividad fotoquímica de los COV volátiles y el nivel de concentración, ambos tuvieron una relación significativa en la producción del ozono fotoquímico. Las muestras de COV se recolectaron a una velocidad de flujo de 30 ml-min-1 durante 10 minutos. Además, la concentración de COV fue mucho más elevada en la ciudad Koteshwor que en Sanepa. Los alcanos fueron más abundantes en Koteshwor (46-102 ppbv, 28-34%) y Sanepa (12-37 ppbv, 29-32%), seguidos de los alquenos (36-67 ppbv, 12-19%) y aromáticos (29 –71 ppbv, 18-22%) en Koteshwor, y aldehídos (5.1-22 ppbv, 12-21%) y alquenos (4.7-22 ppbv, 12-19%) en Sanepa.</p>
41	Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak	Sangkham et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos	<p>Sangkham et al. (2021), señalaron que para la evaluación de los efectos de las condiciones climáticas, así como el análisis de los contaminantes en el aire y la calidad de este en Bangkok, fue necesario el uso de CMAQ, los hallazgos reflejaron que CO, NO₂, SO₂, así como O₃ PM₁₀, PM_{2.5}, tienen un efecto significativo en el origen del smog fotoquímico,</p>

						además, los parámetros meteorológicos también indicaron resultados positivos significativos, entre ellos se encontraron la humedad absoluta, humedad relativa y la velocidad del viento. Asimismo, se alcanzó una concentración de CO de 536.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el mismo que iba en un aumento significativo, en cuanto al promedio de NO se alcanzó 6.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración diaria de O ₃ fue en promedio de 54.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y la concentración de PM fue de 50.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se consideró que el uso del modelo fue esencial ya que fomenta que a partir de los resultados conseguidos se elaboren estrategias ambientales para la posterior regulación de la contaminación del aire, mitigando los efectos nocivos.
42	A Method for Quantifying Near Range Point Source Induced O3 Titration Events Using Co-located Lidar and Pandora measurements	Gronoff et al.	2019	Descriptivo	Modelo	Gronoff et al. (2019), señalaron que el uso del CMAQ, tuvo gran relevancia al momento de proporcionar una visión respecto a la fuente de variabilidad de O ₃ ocurrido en el túnel del puente de la bahía de Chesapeake. El modelo empleado favoreció al análisis del componente en mención y a efectuar la evaluación de la calidad del aire, por ello fue llevado a cabo con la presencia de una dirección de viento favorable. Igualmente, los autores expusieron que los cambios cuantitativos en la concentración de NO ₂ y O ₃ siguieron el comportamiento esperado para condiciones de combustión de NO alto/saturado, lo cual ayudó a deducir que los cambios en las concentraciones son cuantificados ante diversos eventos.
43	Investigating The Temporal Variation in the Frequency of Smog Precursors in the Ambient Air of Lahore	Shehzadi et al.	2021	Descriptivo	Fuentes	Shehzadi et al. (2021), identificaron que las fuentes de liberación de contaminantes son atribuidas a aquellas actividades que originan polvo, industrias, quema de material biogénico, entre otras. Con el estudio realizado, también

						demostraron que los valores hallados se encontraron por debajo de estándares en el aire, esto se debió al tipo de combustible y a las altas concentraciones de partículas o PM. Asimismo, se alcanzó a evaluar los precursores del smog en la ciudad Lahore, con el uso del modelo CMAQ, encontrando valores de PM _{2.5} de 10,49 µg/m ³ -176 µg/m ³ , en cuanto al NO se alcanzó 04µg/m ³ -250µg/m ³ , respecto al NO ₂ se obtuvo el 9,85 µg/m ³ -127µg/m ³ .
44	SOA formation from naphthalene, 1-methylnaphthalene, and 2-methylnaphthalene photooxidation	Chen et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos	Chen et al. (2019), manifestaron que estudios previos señalaron que la cadena larga de alcanos representa el 20 al 30% de SOA derivados de hidrocarburos antropogénicos, lo cual fue hallado con el empleo del modelo CMAQ. Asimismo, los autores identificaron que, con la aplicación del mismo modelo, se visualizó que los rendimientos de SOA, componente que produce el smog fotoquímico, oscilan entre 0.03 y 0.60, mientras que, para naftaleno, fue entre 0.21 y 1,52 para 1-metilnaftaleno y entre 0.34 y 0.55 para 2-metilnaftaleno con niveles altos de NOx.
45	Preparação e validação de arquivos de entrada para uso no simulador de qualidade do AR (CMAQ)	Maia et al.	2020	Descriptivo, experimental	Componentes químicos Factores meteorológicos	Maia et al. (2020), expusieron que entre las fuentes que tienden a producir el smog fotoquímico, la más predominante la vehicular, debido a que se estima que las emisiones de los vehículos son responsables de alrededor del 70% de los contaminantes del aire, más aún en las regiones metropolitanas, y el manejo del modelo CMAQ y análisis de los datos de entrada para el mismo son considerados como un paso esencial para la elaboración de una base de datos para el modelo. No obstante, se considera oportuno contar con datos meteorológicos a través del WRF durante el periodo de un mes. Igualmente, el estudio realizado estableció que el pico de emisiones

						de los componentes NO, NO ₂ , así como SO ₂ y PM ₁₀ a lo largo del día ocurrió a las 18:00 horas, cerca al distrito de Caju, donde las emisiones máximas fueron equivalentes a 25.066 mol/s ¹ , 16.347 mol/s ¹ , 1.165 mol/s ¹ y 26.762 g/s ¹ respectivamente para los componentes NO, NO ₂ , SO ₂ y PM ₁₀ , concluyendo que estos valores de la emisión de contaminantes se asemejan a una función periódica de buen comportamiento, como resultado de la dependencia de las emisiones del parque vehicular
46	Analysis of major pollutants and physico-chemical characteristics of PM _{2.5} at an urban site in Rome	Fanizza et al.	2018	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos Fuentes	Fanizza et al. (2018), expusieron que los PM _{2.5} son contaminantes del aire que tienen repercusiones nocivas, en cuanto son los causantes de cáncer de pulmón y cardiopulmonar. Además, los autores señalaron que las fuentes de contaminación que originan este componente son las emisiones propias de los procesos de combustión vehicular, las industrias y la quema de combustibles sólidos. Además, el origen de PM _{2.5} están sujetos a factores como concentraciones de precursores, de gases reactivos (ozono, radicales nitratos, radicales peroxi, condiciones meteorológicas como velocidad de viento, lluvia, humedad relativa, y temperatura). Igualmente, con la ayuda del modelo CAMx, se identificó que en Roma el valor del PM _{2.5} anual fue de 16 µg/m ³ , no habiendo superado el valor límite de la Directiva Europea, mientras que respecto a los valores obtenidos del O ₃ , se halló que en el mes de diciembre fue más bajo con 9.6 µg/m ³ , y en el mes de agosto presentó un mayor nivel de 66 µg/m ³ , dicho incremento fue asociado a las condiciones meteorológicas como la

						insolación que conduce a reacciones químicas entre los precursores.
47	Reactor characterization and primary application of a state of art dual-reactor chamber in the investigation of atmospheric photochemical processes	Luo et al.	2020	Experimental	Modelos	Luo et al. (2020), señalaron que las cámaras de reactor dual sirven para llevar a cabo una evaluación sobre la correlación de la intensidad de la luz y O ₃ formado en las reacciones fotoquímicas de aire. Además, son empleadas para evaluaciones de mecanismos de oxidación atmosférica de contaminantes y formación de contaminantes secundarios. Sin embargo, otros estudios la han empleado para estudiar los mecanismos de oxidación sobre una fase gaseosa, y por los resultados obtenidos estas son estimadas como eficientes.
48	Inventário de Emissões com Alta Resolução para a Região da Grande Vitória Utilizando o Sistema de Modelagem Integrada WRF-SMOKE-CMAQ.	Loriato et al.	2018	Descriptivo	Factores meteorológicos	Loriato et al. (2018), argumentaron que, en el área metropolitana de Gran Vitória en Brasil, la contaminación originada por las diferentes fuentes o actividades realizadas por el hombre (tráfico vehicular, industrias, entre otras), han generado malestar en la población, ya que muchos de ellos son vulnerables o susceptibles a la pésima calidad del aire. En base a ello, con el uso del modelo CMAQ y otros modelos fotoquímicos se buscó analizar la calidad del aire, alcanzando elevados valores respecto a la emisión de los contaminantes PM _{2.5} , SO ₂ , NO _x , CO y los COV. Igualmente, las emisiones de fuentes puntuales simbolizan el 15.86% de las emisiones totales de PM ₁₀ , el 16.34% de PM _{2.5} , el 76.04% de SO ₂ , el 48.64% de NO _x , el 49.54% de CO. Además, los resultados señalaron que la principal fuente emisora de partículas fueron los vehículos automotores, los datos del inventario determinan que entre el 63.5% y el 69.3% de las emisiones de partículas a la atmósfera estaban ligadas a la

						resuspensión, de acuerdo al tamaño de las partículas.
49	Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki	Fukunaga et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos	Fukunaga et al. (2021), manifestaron que el modelo CTM posibilita la estimación respecto al impacto fotoquímico, por consiguiente, fue empleado para evaluar las concentraciones del componente Ox en Kawasaki, hallándolo en 0.12 ppm. Del mismo modo, se mencionó que la dinámica que presenta Ox (sustancias oxidantes de la atmosfera), se asocian a parámetros meteorológicos (intensidad de rayos UV, velocidad y dirección del viento, temperaturas en el aire). Por lo cual, la concentración elevada de Ox durante la temporada de verano encamina a la aparición de smog fotoquímico, impactando negativamente en los órganos respiratorios.
50	Effects of meteorological variables on nitrogen dioxide variation.	Prearrastre et al.	2019	Descriptivo y exploratorio	Componentes químicos	Prearrastre et al. (2019), señalaron que el NO ₂ es considerado como uno de los óxidos de nitrógeno que se encuentra constante en la atmósfera, pero a la vez resulta ser un gran contaminante causando el conocido smog fotoquímico. Asimismo, los autores estimaron que, en concentraciones elevadas, el NO ₂ contribuye a la corrosión de componente eléctrico y también involucra perjuicios en la vegetación. En cuanto a las concentraciones alcanzadas, se observó que el NO ₂ no presentó niveles altos, ya que fue semejante a 28.23 µg/m ³ , para hallar dicho resultado recurrieron al uso de los modelos de medición de la calidad del aire. Además, respecto al porcentaje de humedad fue de 68.70%, causado por una serie de reacciones químicas, que conducen a que el NO ₂ se convierta en ácido nitrogenado.
51	Evaluation of the Influence between Local Meteorology and	Hou y Xu	2022	Experimental, descriptivo	Modelos	Hou y Xu (2022), mencionaron que las condiciones meteorológicas son determinantes

	Air Quality in Beijing Using Generalized Additive Models					para la calidad del aire en relación de cambios físicos como reacciones químicas. Por ello, el modelo aditivo generalizado junto con los efectos marginales es adecuado para realizar análisis cuantitativo, además, es un modelo que posibilita la evaluación del como los factores meteorológicos (humedad relativa, velocidad de viento u otros), perjudican los niveles de contaminación de aire.
52	Evaluation of the major air pollutants, levels, temporal changes and interactions with meteorological variables in Ankara	Ulutas et al.	2021	Experimental	Componentes químicos	Ulutas et al. (2021), con las evaluaciones realizadas determinaron que el incremento de concentración de ozono es considerado un contaminante secundario y se visualizó en la reacción fotoquímica. Además, en base a los parámetros que fueron distribuidos de manera estacional, se halló que los niveles altos de PM ₁₀ , PM _{2.5} y también CO correspondieron a la temporada de otoño, mientras que los niveles altos de NO, SO y NO _x fueron reportados en invierno y el O ₃ se evidenció en verano, dichos hallazgos fueron alcanzados con el uso de los modelos que posibilitan la medición de la calidad del aire. Asimismo, se encontró que los valores de las concentraciones medias anuales fueron equivalentes a PM ₁₀ 50.15; PM _{2.5} 21.31; NO 39.715 y CO 1070.91 µg/m ³ respectivamente.
53	Assessment of Variations and Correlation of Ozone and its Precursors, Benzene, Nitrogen Dioxide, Carbon monoxide and some Meteorological Variables at two Sites of Significant Spatial Variations in Delhi, Northern India	Ram y Niharika	2021	Descriptivo	Factores meteorológicos Componentes químicos	Ram y Niharika (2021), señalaron que el O ₃ es originado por la interacción fotoquímica de COV y NO _x . En ese marco, la meteorología es esencial la dispersión, formación, así como en el transporte y dilución de contaminantes. Además, las condiciones meteorológicas (velocidad y dirección de viento, humedad relativa y temperatura), pueden llegar perjudicar la variación temporal de superficie O ₃ , así como de los precursores. Por ende, para lograr la minimización de las

						concentraciones O ₃ , se requiere del control de emisión de sus precursores y fuentes.
54	Study of the meteorological influence on ozone in urban areas and their use in assessing ozone trends in all seasons from 2009 to 2015 in Tianjin, China	Jianbo et al.	2019	Experimental	Componentes químicos Modelos	Jianbo et al. (2019), mencionaron que el smog fotoquímico se caracteriza por altos niveles de O ₃ , donde las condiciones meteorológicas (temperatura elevada, vientos ligeros e intensa luz solar, contribuyen a la formación de un elevado O ₃ . De igual manera, manifestaron que el ajuste meteorológico de O ₃ puede brindar un enfoque que permita pronosticar tanto la calidad del aire como realizar una evaluación de los efectos de las diferentes estrategias de control. En ese marco, expusieron la importancia del uso del modelo aditivo generalizado, el cual es considerado adecuado para evaluar la relación lineal o no de los contaminantes del aire y variables meteorológicas.
55	Simulating the effects of land urbanization on regional meteorology and air quality in Yangtze River Delta, China	Chen et al.	2020	Experimental	Componentes químicos	Chen et al. (2020), afirmaron que el PM _{2.5} fue considerado como un indicador clave para el análisis de la incidencia de la urbanización de suelo sobre la contaminación, a partir de ello, se visualizó que la concentración de PM _{2.5} mostró una sólida tendencia diurna, mientras que en el día se evidenció una reducción del mismo en zonas urbanas. No obstante, en algunas ciudades, durante la noche mostraron un aumento debido a la acumulación del PM _{2.5} durante el transcurso del día. De igual manera, se observó que el O ₃ presentó un aumento en la tarde, obteniendo valores superiores a los de la mañana. Por ende, concluyeron que las condiciones meteorológicas tienden a afectar los niveles de los diferentes componentes. Estos resultados fueron obtenidos posterior a la aplicación del modelo WRF-CMAQ, el cual reflejó que el PM _{2.5} fue mayor durante el día, oscilando entre 1.04 y 6.53 µg/m ³ , y fue más

						evidente en las zonas urbanas, y el componente O ₃ alcanzó un valor de 0.5–2.19 µg/m ³ . Asimismo, se identificó que la reducción de la velocidad del viento a 10 m fue de 0.29 m/s, mientras la disminución máxima fue de 0,52 m/s, debido a que en el día hubo un aumento de la resistencia de la superficie.
56	Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China	Xiaoju et al.	2021	Descriptivo	Modelos	Xiaoju et al. (2021), resaltaron la importancia del uso de modelos fotoquímicos que permitan evaluar los efectos de las concentraciones de los contaminantes, es por ello, que los modelos involucran regulaciones o evaluaciones centradas en políticas, además, emplean escalas de nivel local, regional, así como nacional y mundial, tal es el caso de CMAQ, CMAQ que se basan en el diagnóstico de la calidad del aire.
57	Smog prediction based on the deep belief - BP neural network model (DBN-BP)	Jiawei et al.	2022	Experimental, descriptivo	Factores meteorológicos Modelo	Jiawei et al. (2022), manifestaron que los factores meteorológicos son decisivos para la predicción de smog fotoquímico, en cuanto a partir del estudio que realizaron se alcanzó a determinar que la presencia de smog varía de acuerdo a las temporadas o estaciones, respecto a la estación de otoño e invierno se obtuvo una mayor presencia de smog, debido a que el smog ocurre mayormente en estaciones verano y primavera. Por otro lado, indicaron que el modelo DBN-BP fue indispensable para la obtención de datos precisos respecto a la predicción de neblina, el mencionado modelo cuenta con mayor rendimiento sobre predicción en general, aún más cuando las concentraciones de contaminación son elevadas.
58	The effect of manufacturing agglomerations on smog pollution	Jiayu et al.	2020	Descriptivo	Fuentes	Jiayu et al. (2020), indicaron que a pesar de los beneficios que trae consigo las industrias para la sociedad, éstas son consideradas como los

						principales contaminantes y deterioro del aire. Además, los resultados evidenciaron que la aglomeración de actividades económicas, así como factores de producción originan el deterioro del medio ambiente. Asimismo, los autores hicieron hincapié sobre la importancia de los modelos de medición de calidad del aire, tales como camx y CMAQ, los cuales posibilitan cuantificar las concentraciones de los componentes.
59	Environmental sustainability of renewable hydrogen in comparison with conventional cooking fuels	Schmidt et al.	2018	Descriptivo	Fuentes	Schmidt et al. (2018), demostraron que, para el origen del smog fotoquímico, tanto las emisiones de óxidos de nitrógeno como COV producto de la extracción, fabricación o instalación de sistema fotovoltaico son sus principales contribuyentes. Además, los autores mencionaron que el transporte vehicular también es una de las causas del agotamiento de ozono y del origen de formación de oxidantes fotoquímicos.
60	Dynamic Linear Model for Urban Essential Traffic Congestion and Emissions	Kibangou et al.	2021	Exploratorio, descriptivo	Componentes químicos Fuentes	Kibangou et al. (2021), señalaron que los vehículos en las ciudades contribuyen en la emisión de contaminantes al medio ambiente como CO, NOx, HC, PM _{2.5} , COV y otros. Dichos contaminantes provocan considerables perjuicios no solo en el medio ambiente, también en la salud humana por medio de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. De igual manera, manifestaron que el uso de los modelos que ayudan a medir la calidad del aire es esencial para hacer un análisis a profundidad respecto a las concentraciones de los diferentes contaminantes o componentes que generan el smog fotoquímico y a partir de ello diseñar estrategias que ayuden a disminuir los perjuicios provocados por los mismos.

61	Modelling tropospheric ozone variations using artificial neural networks: A case study on the Black Sea coast (Russian Federation)	Makarova et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos	Makarova et al. (2021), indicaron que tanto los aerosoles antropogénicos como el ozono troposférico (contaminante secundario que origina el smog fotoquímico) generan un impacto considerable en la salud humana y en el medio ambiente, en ese marco señalaron que la concentración de ozono troposférico a nivel mundial ha incrementado en 2 a 4 veces frente a una comparación de la era preindustrial, lo cual fue evaluado por medio de un modelo que permitió la medición de calidad del aire. Por ello, se centraron en modelar el ozono mediante el uso de redes neuronales, las cuales posibilitan la predicción de sus niveles de concentración.
62	Energy-balanced and effective adsorption-catalytic multilayer bed system for removal of volatile organic compounds	Jarczewski et al.	2022	Descriptivo, experimental.	Factores meteorológicos Fuentes	Jarczewski et al. (2022), han señalado que el smog fotoquímico al ser impulsado por los rayos UV y a la vez acelerado por condiciones calidad tiende a presentar mayor contaminación. Además, se consideró que tanto la industrialización, así como el crecimiento económico son también fuentes que contribuyen a la producción del smog fotoquímico. De igual forma, se indicó que los componentes perjudiciales propios del smog fotoquímico son O ₃ y PAN, los cuales se producen por especies suspendidas en el aire y que son emitidas por nox y COV, igualmente, señalaron que es factible evaluar las concentraciones de los mencionados componentes a través de diversos modelos de medición de calidad del aire tales como cmax, CMAQ y WRF.
63	Impact of quarantine measures on chemical compositions of PM _{2.5} during the COVID-19 epidemic in Shanghai, China	Chen et al.	2020	Descriptivo	Componentes químicos	Chen et al. (2020), expusieron que durante el periodo de la pandemia se disminuyó considerablemente el PM _{2.5} a causa de la reducción de las concentraciones tanto de nitrato como aerosoles primarios, habiendo

						sido determinado mediante los modelos CTM y camx. Además, se indicó que hubo una reducción de componentes químicos propios del smog fotoquímico, como SO ₂ , NO _x y CO, concluyendo que la calidad de aire ha presentado mejoras gracias a la disminución de gases por la suspensión de actividades de la sociedad.
64	Assessing the addition of hydrogen and oxygen into the engine's intake air on selected vehicle features	Synak et al.	2021	Exploratorio	Componentes químicos	Synak et al. (2021), han afirmado que los gases nox son producidos frente altas presiones y temperaturas, así como ante la presencia de una combinación de motores de combustión, además, tanto el N ₂ O y óxido nitroso al ser parte de nox tienden a agotar la capa de ozono y son tóxicos para las personas. De igual forma, se consideró que el NO es un principal contribuyente a la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida. La precisión de la medición fue 0,03 vol % CO, 0,05 vol % CO ₂ , 10 ppm vol. HC, 0,1 vol. O ₂ y 32 ppm vol. Nox.
65	Evaluation of Areca palm renewable options to replace disposable plastic containers using life cycle assessment methodology	Gautam et al.	2020	Diseño descriptivo	Componentes químicos Factores Meteorológicos	Gautam et al. (2020), han señalado que el origen del smog oxidante fotoquímico es consecuencia de las reacciones entre nox y de los COV frente a la acción de radiación UV, de modo que se produce la formación de ozono en la troposfera. De igual manera, establecieron que los COV son contaminantes conformados por más de 120 tipos de gases, provocan contaminación secundaria y con ello el smog fotoquímico. Además, COV junto con el óxido de nitrógeno y más sustancias en el aire producen reacciones fotoquímicas. Igualmente, los COV fueron precursores de contaminantes secundarios (O ₃ y SOA) mediante ciclos fotoquímicos. Además, su prevención y control favorecen a identificar las

						principales fuentes, y las áreas de emisión de los mencionados precursores.
66	Assessing the relationship between ground levels of ozone (O3) and nitrogen dioxide (NO2) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy	Zoran et al.	2020	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos	Zoran et al. (2020), han establecido que el ozono es considerado como un gas que se halla en la estratosfera y a nivel del suelo, el primero se estima que es bueno ya que es una barrera para los rayos UV, mientras a nivel de suelo resulta ser contaminante secundario originado por las reacciones fotoquímicas que involucran tanto radiación solar como precursores del ozono. De igual manera, los autores afirmaron que los factores meteorológicos (temperatura, velocidad y dirección de viento, precipitación y humedad relativa) presentan gran potencial para perjudicar la generación, distribución y también el depósito de O ₃ .
67	Characteristics of CO and NOx emissions from combustion of transmethylated palm kernel oil-based biodiesel blends in a compression ignition engine	Shote et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos Fuentes	Shote et al. (2019), han señalado que el componente nox es una de las principales causas respecto al smog fotoquímico que producen diversos problemas en la salud humana (dificultad de respiración, dolor de cabeza, irritación de los ojos, etc.), además, sus concentraciones pueden ser analizadas con el uso de los modelos de medición de calidad del aire. Asimismo, se corroboró que tanto la quema de combustible fósil, así como la biomasa encaminan hacia una alteración en la composición de la atmosfera y con ello al agotamiento de la capa de ozono.
68	SARS-CoV-2 viability on different surfaces after gaseous ozone treatment: a preliminary evaluation	Percivalle et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos	Percivalle et al. (2021), han indicado que el ozono es un componente contaminante secundario que conduce a la formación de smog fotoquímico, igualmente sus altas concentraciones representan un gran peligro para la salud, y estas pueden ser halladas con los modelos de medición como cmax o CMAQ,

						entre otros. Asimismo, el ozono es considerado como un agente oxidante fuerte que puede reaccionar a ciertos compuestos orgánicos e inducir hacia la corrosión de algunos materiales.
69	Prospective life cycle assessment of hydrogen production by waste photoreforming	Rumayor et al.	2022	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos	Rumayor et al. (2022), han manifestado que la formación de oxidantes fotoquímicos puede encaminar a la liberación de sustancias químicas que originan el O ₃ sobre la troposfera, las cuales pueden ser evaluadas por medio del cmax, WRF o CMAQ. Además, con el estudio realizado se estableció que los valores de oxidantes fotoquímicos fueron mayores al haber usado la luz solar como una fuente de energía fotocatalítica. Asimismo, mencionaron que los gases más estudiados son el O ₃ y NO ₂ , este último es considerado precursor del O ₃ , ambos perjudiciales para la salud humana y economía, en cuanto encaminan a la disminución del rendimiento de cultivos
70	Comparative environmental life cycle assessment of carbon capture for petroleum refining, ammonia production, and thermoelectric power generation in the United States	Young et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos	Young et al. (2019), determinaron que el potencial de formación de smog fotoquímico es el resultado de la liberación de nox, por ello se consideraron que los sistemas para captura de carbono tienden a disminuir las emisiones del nox, en tal sentido los sistemas son una alternativa tecnológica que permite la reducción de gases de efecto invernadero, mientras que los modelos de predicción son un mecanismo eficaz para analizar las concentraciones del mencionado componente.
71	Future trends in ambient air pollution and climate in Germany – Implications for the indoor environment	Salthammer et al.	2018	Descriptivo	Componentes químicos	Salthammer et al. (2018), han establecido que la reacción fotoquímica del NO ₂ tiende a encaminar hacia la formación de ozono, además, la concentración del NO ₂ no solo está sujeto al volumen de tráfico sino a otras sustancias precursoras, entre ellas los

						hidrocarburos y NO. Asimismo, los valores de referencia de NO ₂ fueron equivalentes a 350 µg/m ³ (0,5 h) y 60 µg/m ³ (1 semana).
72	The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis	Morawska et al.	2021	Descriptivo	Factores meteorológicos	Morawska et al. (2021), han señalado que los modelos cmax y CMAQ evidenciaron las altas concentraciones de O ₃ se presentaron tanto en la temporada de primavera como en el verano junto a la presencia de sus precursores, COV, nox y también por las condiciones meteorológicas favorables. También indicaron que el smog fotoquímico es originado en la temporada de verano, así como en zonas o áreas subtropicales, que cuentan con luz solar intensa o una temperatura elevada.
73	Synthesis and characterization of Ag metal doped SnO ₂ , WO ₃ and WO ₃ -SnO ₂ for propan-2-ol sensing	Nihal et al.	2021	Descriptivo	Componentes químicos	Nihal et al. (2021), han determinado que los COV pertenecen a la categoría de compuestos químicos orgánicos, donde su composición inherente los convierte en volátiles frente condiciones estándar de presión y temperatura. No obstante, estos son grandes contaminantes del aire y además de perjudicar la salud humana también producen ozono a nivel del suelo y con ello dirige a la formación del smog fotoquímico.
74	Influence of meteorological conditions on PM _{2.5} concentrations across China: A review of methodology and mechanism	Chen et al.	2020	Experimental	Componente químico	Chen et al. (2020), han afirmado la existencia de una influencia positiva entre la temperatura con las concentraciones de PM _{2.5} , en ese marco, señalaron que la temperatura es considerada como un factor meteorológico relevante para la formación del smog fotoquímico. De igual manera, se indicó que las altas temperaturas son causantes de las reacciones fotoquímicas y del origen de más precursores de PM _{2.5} , así como la producción de otros contaminantes secundarios. Igualmente, llevaron a cabo un estudio en China para cuantificar la interacción del factor

						meteorológico y concentración del PM _{2.5} , con el fin de hallar métodos para el manejo o control de este componente. De modo que, para su medición se recurrió al modelo CTM, ya que este método también considera las emisiones antropogénicas y evolución de contaminantes, además proporcionó una referencia fiable para la dinámica y permitió estimar las concentraciones de PM _{2.5} de manera práctica, las cuales fueron más altas en Beijing, con un valor semejante a > 95 µg/m ³ anualmente, y la concentración más baja fue de < 10 µg/m ³ , siendo esto atribuido a la presencia de industrias en la ciudad.
75	Emissions and atmospheric processes influence the chemical composition and toxicological properties of urban air particulate matter in Nanjing, China	Ronkko et al.	2018	Descriptivo	Fuentes	Ronkko et al. (2018), señalaron que las PM _{2.5} son partículas de diversos tamaños que se hallan suspendidas sobre la atmosfera y son causantes de la reducción de calidad del aire y con ello acarrear problemas a la salud. Estas partículas se originan producto del tráfico vehicular, presencia de industrias, emisiones asociadas a la calefacción de edificios, por lo cual las partículas se emiten de forma directa a la atmosfera, asimismo, estas partículas pueden ser producto de una reacción química sobre la atmosfera, siendo causadas por los gases.
76	Product analysis and mechanism of toluene degradation by low temperature plasma with single dielectric barrier discharge	Fenglei et al.	2020	Descriptivo	Componentes químicos Fuentes	Fenglei et al. (2020), indicaron que los COV presentan una actividad fotoquímica, que al ser mezclados con óxidos de nitrógeno producen contaminación de ozono, lo cual resulta ser nocivo para el medio ambiente y la salud. Además, los autores manifestaron que los COV son liberados por medio de la quema de combustibles o a causa de los productos utilizados durante los procesos industriales y las concentraciones de estos son obtenidos

						mediante el uso de los modelos de medición de calidad del aire.
77	The long-term assessment of air quality on an island in Malaysia	Abdul et al.	2018	Explorativo, descriptivo	Factores meteorológicos	Abdul et al. (2018), determinaron que los factores meteorológicos son esenciales en la formación de actividad fotoquímica, además, indicaron que los niveles de NO y NO ₂ disminuyeron de forma significativa en la tarde y esto se asoció al incremento de O ₃ durante la tarde, estos hallazgos fueron el resultado del uso del modelo cmax y WRF. Asimismo, los resultados fueron atribuidos a la formación fotoquímica de O ₃ , donde los niveles de radiación UV son elevados en la tarde, potenciando la producción de O ₃ . Por ende, se afirmó que las reacciones fotoquímicas se vieron influenciadas por la temperatura.
78	Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste	Slorach et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos Factores meteorológicos	Slorach et al. (2019), indicaron que el smog fotoquímico es producto de la existencia de reactivos, así como productos que se hallan en la atmósfera como NO _x , CO, CH ₄ , COV frente a la presencia de radiación solar, por lo mismo que es muy frecuente durante la temporada de verano y suele darse por la mezcla y reacción entre NO _x y luz solar.
79	Tropospheric ozone and skin aging: Results from two German cohort studies	Fuks et al.	2019	Descriptivo	Componentes químicos	Fuks et al. (2019), señalaron que para que las reacciones de smog fotoquímico lleguen a generar O ₃ , deben involucrar diferentes contaminantes del aire y a la vez requieren de radiación UV. De igual manera, establecieron que durante la noche y en presencia de óxido nítrico, el O ₃ tiende a descomponerse de forma rápida, estos resultados corroboraron la eficacia de los modelos de medición de calidad del aire, en cuanto permiten recolectar datos en tiempo real y estos dirigen a que se elaboren estrategias que contribuyan a reducir la emisión de estos contaminantes.

80	Ozone inhalation induces exacerbation of eosinophilic airway inflammation and Th2-skew immune response in a rat model of AR	Sun et al.	2021	Descriptivo	Fuentes	Sun et al. (2021), determinaron que el O ₃ es el causante del origen del smog fotoquímico y en ocasiones este excede los niveles del estándar de salud, producto de la aceleración de las industrias y el incremento de vehículos en las ciudades. Los autores afirman que el O ₃ ha desplazado a las PM _{2.5} , convirtiéndose en el principal contaminante del aire, por ende, es uno de los gases más estudiados, debido a su abundancia, colocándolo como el principal oxidante fotoquímico.
----	---	------------	------	-------------	---------	---

Anexo 2 Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Variables	Metodología
<p>¿Cuáles son los modelos de predicción de smog fotoquímico en el ambiente en la actualidad?</p>	<p>Objetivo general Evaluar los modelos de predicción de smog fotoquímico en el ambiente en la actualidad.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>OE1: Analizar los efectos de los componentes primarios y secundarios del smog fotoquímico, OE2: Analizar los factores meteorológicos que intervienen en la formación del smog fotoquímico OE3: Analizar las principales fuentes de generación del smog fotoquímico, OE4: Analizar los diferentes tipos de modelos que hay para estudiar el smog fotoquímico.</p>	<p>Efectos del Smog fotoquímico</p>	<p>Tipo: Básica Diseño: No experimental, recurre a la revisión literaria Participantes: 80 artículos científicos Técnica: Técnica del prisma Instrumento: Revisión documentaria</p>

Anexo 2: Declaratoria de autenticidad del (de los) autor(es)

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL (DE LOS) AUTOR(ES)

Yo (Nosotros),
alumnos de la Facultad / Escuela de Posgrado y
Escuela Profesional / Programa Académico de la Universidad
César Vallejo (Filial o sede) declaro (declaramos) bajo juramento que
todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis
titulado “.....” son:

1. De mi (nuestra) autoría
2. El presente Trabajo de Investigación / Tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El Trabajo de Investigación / Tesis no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en el presente Trabajo de Investigación /Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

Lugar y fecha,

.....

Apellidos y nombres del autor

DNI:

.....

Apellidos y nombres del autor

DNI:

Anexo 3: Declaratoria de autenticidad del asesor

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR

Yo,,
docente de la Facultad / Escuela de Posgrado y
Escuela Profesional / Programa Académico de la Universidad
César Vallejo (filial o sede), revisor (a) del trabajo de investigación
/ tesis titulado(a):
“
.....” del (de los)
estudiante(s),
constato que la investigación tiene un índice de similitud de% verificable
en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin
filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y he concluido que cada una de las coincidencias
detectadas no constituyen plagio. En tal sentido asumo la responsabilidad que
corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los
documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto
en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha,

.....

Apellidos y nombres del (de la) docente

DNI: