



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“MODELAMIENTO DE LAS EMISIONES GASESOSAS
PROVENIENTES DEL SECTOR INDUSTRIAL”

Trabajo de investigación para optar el Grado de Bachiller en:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Lina Candy Rojo Ala (0000-0002-3687-2674)

Asesor:

Elvito Fabian Villegas Silva (0000-0001-9783-1641)

Lima – Perú

2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 240-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **MODELAMIENTO DE LAS EMISIONES GASEOSAS PROVENIENTES DEL SECTOR INDUSTRIAL**, presentado por:

- **Lina Candy Rojo Ala**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **MODELAMIENTO DE LAS EMISIONES GASEOSAS PROVENIENTES DEL SECTOR INDUSTRIAL** con N° de registro de la carrera: **091-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Elvito Fabian Villegas Silva** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

MODELAMIENTO DE LAS EMISIONES GASEOSAS PROVENIENTES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Lina Candy Rojo Ala ¹; Elvito Fabian Villegas Silva ¹

¹ Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima-Perú.

*Autor de correspondencia: 180000420@ucientifica.edu.pe

RESUMEN

Las actividades que realiza el hombre son responsables del incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales han generado el calentamiento global. El Perú es responsable del 0.4% de estas emisiones a nivel mundial , siendo el sector industrial uno de los mayores contribuidores en emisiones con 171,309.57 Gg CO_{2eq} .Por otro lado, los gases que afectan la calidad de aire producto de la combustión generado por hornos y chimeneas no han sido estimado en porcentaje hasta el momento, estos son el dióxido de azufre (SO₂) ,Monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno(NO_x) .El modelamiento es una herramienta que ayuda a simular la dispersión de estos contaminantes así como su comportamiento en la atmosfera ya sea que estas provengan de fuentes móviles como como los vehículos o fijas como las chimeneas, además que brinda información para solucionar los problemas en el deterioro de la calidad del aire y ayuda en la elaboración de medidas de mitigación, los tipo de modelos más usados son AEROMOD Y OCD el cual es usado en distintos países como Panamá y Colombia que lo utilizando para la vigilancia de calidad ambiental , los factores que han influido en el medio difusor son la topografía y vientos, además son utilizado por los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para la elaboración de la línea base ambiental.

Palabras claves: modelo, contaminantes criterio, chimenea, gases de efecto invernadero, calentamiento global, calidad del aire, dispersión.

ABSTRACT

The activities carried out by man are responsible for the increase of Greenhouse Gases (GHG) these uses to global warming. Peru is responsible for 0.4% of these emissions worldwide, with the industrial sector being one of the largest contributors in emissions with 171,309.57 Gg CO_{2e}q. On the contrary, the gases that take advantage of the air quality produced by combustion generated by furnaces and Stacks have not been estimated in percentage so far, these are Sulphur Dioxide (SO₂), Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Oxides (NO_x). Modelling is a tool that helps simulate the dispersion of these pollutants as well as their behaviour in the atmosphere, whether they come from mobile sources such as vehicles or fixed sources such as chimneys, in addition to providing information to solve air pollution problems. and helps in the development of mitigation measures, the types of models most used are AEROMOD and OCD which is used in different countries such as Panama and Colombia, which are used to monitor environmental quality, the factors that have influenced the environment diffuser are the topography and winds, in addition to being used by the Environmental Impact Studies (EIA) for the elaboration of the environmental baseline.

Keywords: model, criteria pollutants, chimney, greenhouse gases, global warming, air quality, dispersion.

I. REVISIÓN TEÓRICA

1. Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector industrial

1.1 A nivel mundial

Las actividades que realiza hombre a nivel mundial son responsables del aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), esto ha traído como consecuencia el calentamiento global, contrario a le generación de sulfato que provoca la refrigeración de la tierra (Users , 2013). Desde que comenzó la era preindustrial sea dado un aumento considerable de concentraciones atmosféricas de óxido de nitroso (N₂O) ,dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) ,19.4% de todas estas emisiones son provenientes del rubro industrial (IPCC, 2007).

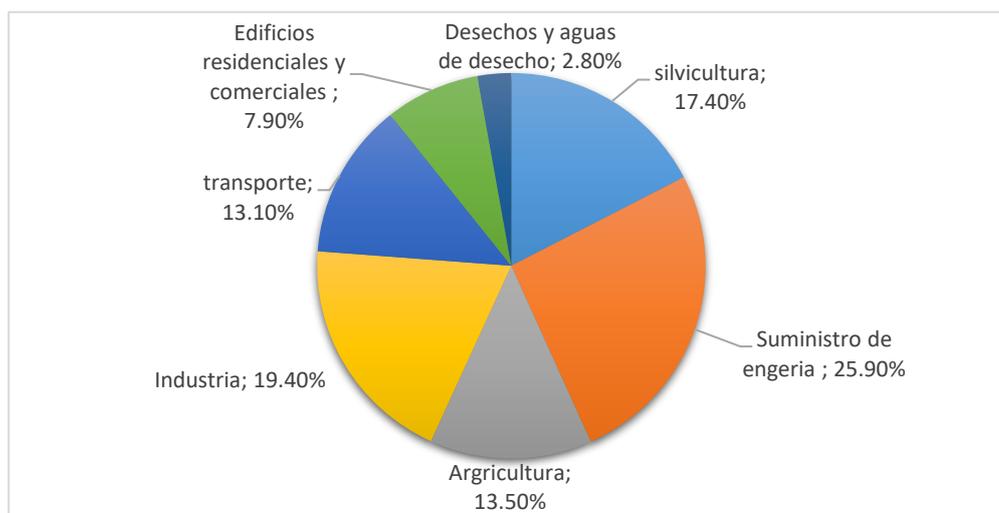


Figura 1.Emisiones totales a nivel mundial de GEI antropógenos en distintos sectores

Fuente: IPCC, 2007

Pequeñas variaciones en los flujos de los gases podrían contribuir de manera significativamente con el calentamiento global (Robertson, 2004).Uno de los principales gases que se emite en la atmósfera es el dióxido de carbono (CO₂) y equivale al 75 % de las emisiones de GEI que hay alrededor del mundo, este proviene principalmente por la quema de combustibles fósiles y se

vierten en la atmósfera en forma de vapores y humos, provenientes de tubos de escape, chimeneas, incendios, entre otros, (Díaz , 2012).

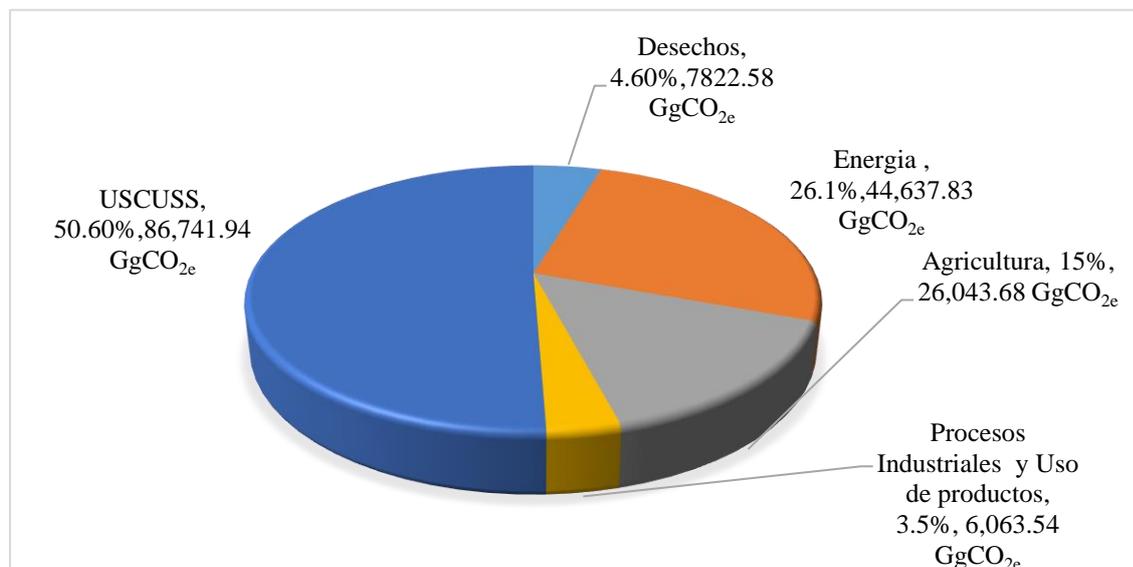
1.2 En el Perú

El Perú contribuye solo con el 0.4 % de las emisiones de GEI a nivel global, sin embargo ocupa el tercer lugar como país más vulnerable ante riesgos climáticos. Desde 1989 se ha perdido el 22% de los glaciares que representan un gran porcentaje de los glaciares tropicales en el mundo (PNUD, 2019). El Perú es parte de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y del Protocolo de Kyoto, por lo tanto, tiene que cumplir con reportar a los países participantes sobre las emisiones y captura de los GEI , así como las medidas que está tomando y que se piensan tomar, para lo cual se realiza un inventario nacional, que consiste en elaborar un informe que contenga la cantidad de emisiones de GEI por fuente , tomando en cuenta el periodo y espacio (MINAM, 2016).

1.2.1. Infocarbono

Los resultados que se obtuvieron en el Inventario Nacional (INGEI) en el año 2012 reportaron un total de 171,309.57 Gg de dióxido de carbono en emisiones la mayor cantidad son provenientes del Uso de Suelos, Cambio De Uso De Suelos y Silvicultura (USCUSS) con el 50.63% que equivalen a 86,741.94Gg CO_{2eq}, seguido por los sectores de energía y agricultura que representan porcentaje gran del total (figura 2). El sector energía incluye la quema de combustibles fósiles provenientes de la industria de la manufactura y de construcción , las emisiones se generan por el uso de combustible y la obtención de productos como cal, cemento ,bebidas ,alimentos para consumo humano y animal (MINAM, 2012).

Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero por sectores



Fuente: MINAM, 2012

2. Gases que afectan la calidad del aire proveniente del sector industrial

Los contaminantes que perjudican la calidad del aire se clasifican en contaminantes no criterio y criterio. Estos últimos se han identificado como dañinos para la salud de los seres humanos, estos recibieron la denominación cuando fueron estudiados en diferentes evaluaciones de calidad de aire en Estados Unidos, con el fin de establecer los niveles permisibles que protejan al ambiente y la salud. En la actualidad término está siendo usado por muchos países, los siguientes compuestos se encuentran en este grupo: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), Ozono (O₃), plomo (Pb), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (Mage et al., 1996). El origen de los contaminantes criterios proviene de una mezcla compleja de diversas fuentes, como chimeneas, pinturas, procesos industriales de combustión, vehículos de transporte público y privado, entre otros (Tian et al., 2007).

2.1. Efectos en la salud

Los gases que salen de la chimenea de las industria producto de la combustión son: el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), estas

emisiones pueden ser calificados como dañinas para la salud de la población (Aramendi et al, 2001). Generalmente, estos contaminantes atmosféricos afectan al sistema respiratorio, ocasionando la disminución de la función pulmonar. El SO₂ es un gas denso, que se genera por el uso excesivo de combustibles, ya que en su composición contienen azufre (Seoáñez et al. , 2002). Este puede generar la obstrucción e hipertensión bronquial que a largo plazo puede causar una bronquitis crónica, mientras que el CO puede llegar a afectar al sistema nervioso central y automático que podría generar la disminución de la percepción auditiva y visual (Orozco et al. , 2003). Los óxidos de nitrógeno (NOx) son corrosivos y en presencia de radiación solar reacción con los hidrocarburos formado el smog, el cual ocasiona irritación ocular, bronquitis y dañan el tracto respiratorio en los receptores más sensibles que son los niños (Beatriz, 2017).

2.2 Normativa Peruana

2.2.1 Estándares Nacionales de calidad de Aire ECA)

Tienen como objetivo proteger la salud humana, además que son de suma importancia al momento evaluar los impactos en la calidad de aire y el ambiente, esto ayudara en la toma de decisiones en los Planes de acción de calidad de aire (MINAM, 2001).

Tabla1: Estándares Nacionales del ECA en el Perú

Parámetro	Periodo	Valor (ug/m ³)	Efecto en la salud
Dióxido de azufre(SO ₂)	Anual	2	Problemas respiratorios frente a la exposición en un corto plazo de 10 minutos (EPA,2006)
Monóxido de carbono(CO)	24 horas	25	Infiere con el proceso de transporte del oxígeno mayor a este 240 a 270 al unirse con la hemoglobina ,los efectos son los de percepción visual y audición (Oyarzún, 2010).
Dióxido de nitrógeno(NO ₂)	1hora	200	Estudios que se hicieron en Europa demuestran que disminuyen la función pulmonar y aumento en la aparición de enfermedades respiratorias así como la bronquitis (Greenfacts, 2006)
	anual	100	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Por encima de los 160 ug/m ³ están relacionado con cambios en la función pulmonar así como inflamación en los pulmones q
Plomo (Pb)	mensual	1.5	La afectación del plomo se da mediante la inhalación o la digestión principalmente afecta al sistema nervioso, así como anemia en los niños(ASTDR, 2007).
	anual	0.5	
Sulfuro de hidrógeno(H ₂ S)	24 horas	150	Afecta a la respiración por ende a la producción de energía, los tejidos más susceptibles a este gas son el tejido nervioso y cardiaco (INSST , 2011).
Material Particulado (<PM ₁₀)	24 horas	50	Estudios que se realizaron en Europa y los Estados Unidos los efectos de mortalidad a corto plazo con este gas del 0.62 % y de 0.46% (Katsouyanni et al., 2001).
	anual	25	
Material Particulado (<PM _{2.5})	24 horas	50	Están relacionadas a enfermedades respiratorias como la bronquitis y efectos cardiovasculares (Linares y Díaz, 2008).
	Anual	25	
Benceno(C ₆ H ₆)	anual	2	El grupo de hidrocarburos como en el benceno y benzo(a)pireno son adversos a sus salud por su carcinogenicidad (OMS,2000).
Mercurio Gaseoso total(Hg)	24horas	2	Se considera que representa un riesgo para los humanos en la forma de vapor de mercurio, mercurio inorgánico divalente, metil mercurio, pueden generar efectos tóxicos como el cáncer y la mutagenicidad, así como daños al sistema nervioso (EPA, 1997).

Fuente: MINAM, 2001

2.2.2 Límites máximos permisibles (LMP)

Mediante el decreto supremo N° 011-2009-MINAM se aprobaron los LMP para las emisiones provenientes del sector de la industria referidas aceite de pescado, harina, y harina de residuos hidrobiológicos, si la concentración de los gases (Tabla 2) es excedida van a generar un daño al ambiente y al ser humano, son fiscalizables por lo que su cumplimiento es de carácter legal.

Tabla 2. Parámetros establecidos de las industria pesquera

Contaminante	Concentración (mg/m ³)
Material Particulado(MP)	150
Sulfuro de hidrogeno, sulfuros	5

Fuente: MINAM, 2009

Mediante el decreto supremo N° 003-2002-PRODUCE se ratifica los Límites Máximos Permisibles para controlar las emisiones provenientes de los hornos de la industria cementera (Ministerio de la Produccion, 2002).

Tabla 3 .LMP de emisiones del horno industrial de una cementera.

Parámetro	Horno	concentración(mg/m ³)
Material particulado	En curso	250
	Nuevo	150

Fuente: Ministerio de Producción, 2002

2.2.3 Norma Técnica Peruana -NTP 350.301 2009

Se aplica para calderas que utilizan combustibles sólidos, líquidos y gaseosos derivados del petróleo (INDECOPI, 2009).

Tabla 4.LMP para calderas de vapor para el sector industrial

Tipo de combustible	Contaminantes mg/m ³		
	NO _x	Partículas	SO ₂
Solido	275	100	Diesel:700 de S en masa Residual:1500 de S en masa
Liquido	458	100	1500

Fuente: INDECOPI, 2009

Tabla 5.LMP para emisiones provenientes por calderos por tipo de combustible

Parámetro	Límite de emisión (mg/Nm ³)		
	combustible		
	gas	liquido	Solido
Partículas solidas	-----	150	150
SO ₂	300	1500	150(carbón)
			100(bagazo)
			500(Bag/petro)
NO _x	320	600	750
CO	100	350	500
Opacidad (Índice Bacharach)	0	4	-----

Fuente: INDECOPI, 2009

3. Modelamiento de las emisiones de gaseosas

3.1 Factores que influyen en la dispersión de los contaminantes atmosféricos

Los modelos de permiten unir todos los factores que influyen en la atmosfera ante un determinado escenario, que difícilmente se podría obtener con medidas físico-químicas. A continuación de detallaran cada una de ellas (Gallego et al. , 2018):

3.1.1 Emisor

El tipo de emisor, fijo o móvil, puntual o lineal, condicionará el modelo que se va a plantear, para lo cual se deben tomar en cuenta las características del emisor (Tabla 1), también se debe tomar en cuenta la concentración y la naturaleza de emisión.

Tabla 6. Características del emisor

		Emisor	
Tipo de emisor	Según su origen	Fijos	Emisores con una localización (calefacciones e instalaciones industriales)
		Móviles	Vehículos a motor, aeronaves o barcos
	Según su distribución Espacial	Lineal	Carreteras o calles
		Puntual	Chimeneas aisladas
		Superficial o de área	Zonas urbanas o industriales
Multifocos	Se engloban las áreas urbanas e industriales		
Composición de la emisión	Datos representativos de los componentes de la emisión		
Otros	Altura del foco, temperatura, caudal, velocidad de salida del efluente.		

Fuente: Gallegos et al., 2018

3.1.2 Receptor

Los receptores son las características del medio físico que dependerán del entorno del emisor para lo cual se tendrá que tomar en cuenta diversos factores como: la demografía, vegetación y cultivo, y zonas de mayor sensibilidad como las áreas naturales protegidas y poblaciones.

3.1.3 Difusor

Si bien, los tipos y condiciones de la emisión, así como los receptores son importantes para la aplicación de un modelo, los factores meteorológicos y geográficos influyen principalmente en la dispersión de contaminantes atmosféricos.

- *Factores meteorológicos*

Algunos de los factores meteorológicos más relevantes son la temperatura ambiental; la radiación solar participa en la formación de ozono, ya que permite el óxido de nitrógeno reacciones con los vapores; la precipitación, que actúa de manera beneficiosa, ya que lava las partículas de contaminantes del aire y las minimiza; además, las ciudades que están rodeadas de topografía complejas como los valles o cadenas montañosas soportan mayores concentraciones de contaminantes (Inche, 2007); sin embargo, los que influyen de manera decisiva en la dispersión de contaminantes son el viento, topografía y la estabilidad atmosférica, estos se detallarán a continuación:

- **Viento**

En aquellas regiones que son planas se le conoce como desplazamiento horizontal del aire, la dirección del viento influye en el transporte y dilución de los contaminantes, si este se encuentra de manera constante el área estará propensas a niveles altos de contaminación,

pero si esta de manera cambiante los contaminantes se dispersan en un área más grande y las concentraciones serán menores, si la velocidad del viento incrementa mayor es el volumen de aire que se desplaza por el tiempo, en la zona donde se encuentra la fuente de emisión. La velocidad afecta en el tiempo en que los contaminantes recorren entre los emisores y receptores. Si la fuente se encuentra ubicada a nivel de suelo mayor será la intensidad de viento, por ende menor será la concentración de los contaminantes (Venegas y Mazzeo, 2012).

- **Características geográficas y topográficas**

Influyen en el origen de las brisas que son los movimientos de masas de aire, ya que puede ocasionar la acumulación o arrastre de los contaminantes. A continuación se detallaran cada una de ellas (Echeverri, 2019).

- **Zona costera**

Se generan las brisas marinas que durante el día desplazan a los contaminantes al interior, mientras que durante la noche es diferente ya que se invierte la circulación y los contaminantes son desplazado hace al mar mediante un movimiento cíclico que se repite cada día.

- **Zona montañosa**

Se generan las brisas de ladera y valle, durante todo el día se calientan las ladera mediante la radiación solar y estas a su vez calientan las masas de aire que genera una corriente que asciende y se desplaza por las laderas desde los valles hacia la cumbre, pero en el valle ocurre todo lo contrario ya que las masas de aire se acumulan y originan la inversión térmica.

- **Presencia de vegetación**

Frena la velocidad del viento, por ende disminuye la concentración de los contaminantes, las partículas son retenidas en la hojas, además actúan como sumideros y reguladores, ya que absorben el dióxido de carbono (CO_2) para realizar fotosíntesis.

- **Presencia de centros urbanos**

Ante la construcción de edificios las masas de aire disminuyen su velocidad. Se genera el efecto isla de calor, esto se debe a que temperatura en el interior de una ciudad es mayor que al contorno, debido al calor que se genera por las combustiones.

3.2. Etapas de la modelización

Para poder realizar un modelo se tienen que realizar una serie de fases (Baldasano, 2000).

- **Análisis del sistema:** Se analiza las características del sistema lo que comprende la atmósfera y el entorno del área donde se encuentra el objeto modelado, en esta etapa se tiene que definir porque y para que se va a modelar, además de conocer los procesos y factores que influyen así como la información con la que se cuenta.
- **Conceptualización:** Se determina los elementos que serán parte del modelo y la relación entre ellos, además se analizara la importancia y características de los procesos que dominan el sistema y que se consideraran en el modelo; variables de estado y de entrada; tipo de condiciones de contorno e iniciales escalas espaciales y temporales del modelo.
- **Formulación:** Se escogen las ecuaciones matemáticas que se utilizaran en los diferentes procesos del modelamiento así como el algoritmo.
- **Programación:** Se desarrolla el código computacional del modelo lo que involucra la lectura de datos, así como el control de la impresión de los resultados.

- **Ejecución incluyendo la preparación de los datos de entrada y la visualización de los resultados:** Consiste en la evaluación de las variables como la concentración de contaminantes, variables meteorológicas en un determinado tiempo y cortes horizontales y verticales de campos de dichas variables.
- **Evaluación:** En esta etapa se comprueba la calidad de modelo al momento de simular los procesos observados, para ello, se debe contar con los datos experimentales obtenidos y las ecuaciones en las que se fundamenta el modelo. Para la cual se tiene que considerar tres fases: la calibración, en el cual se hace el ajuste de determinados parámetros del modelo para poder obtener una igualdad entre las medidas obtenidas en campo y los resultados del modelo. Seguido por la verificación, que consiste en determinar si el modelo será una representación precisa del sistema real del objeto de estudio para ello se debe contar con los datos experimentales en la zona del objeto modelado. Por último, la validación se determinará hasta donde se puede extrapolar la aplicación del modelo y los resultados si es que hubiera un cambio de las condiciones básicas del sistema estudiado o considerado, se necesitarían datos experimentales con diversos escenarios meteorológicos, geográficos, emisiones, etc.
- **Uso del modelo en modo operacional:** Un modelo se utiliza en la predicción de calidad de aire, estudios de impacto ambiental, medidas de reducción de los contaminantes, entre otros.

En resumen para la aplicación del modelo se debe seguir los siguientes pasos:

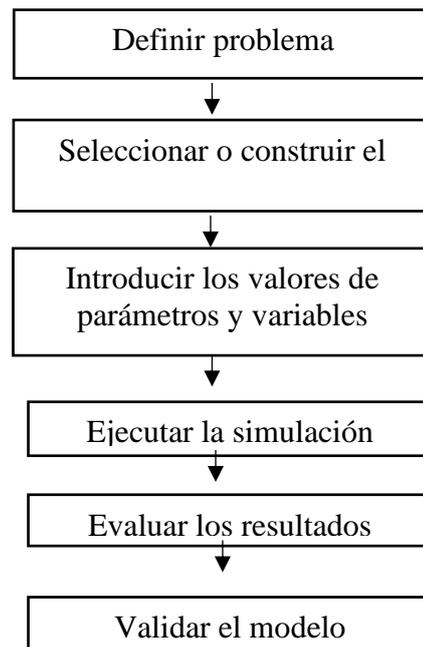


Figura 3. Principales fases de la modelización atmosférica

Fuente: Baldasano, 2000

3.3 Clasificación de los modelos

Los modelos que explican la dispersión de los contaminantes atmosféricos se pueden diferenciar en distintos campos, uno de ellos es el tipo básico, el cual se dividen en: Los modelos físicos y matemáticos. Los físicos se representan a pequeña escala en una determinada área con el uso de un túnel de viento, mientras que los modelos matemáticos se basan en principios físico-químicos y sistemas conceptuales, estos se distinguen dos grupos los modelos que se determinan en ecuaciones matemáticas y los empíricos que se basan en relaciones estadísticas (Torres, 2008). Por otro lado, también se pueden clasificar según el fin para que él se utilizara Para propósito de regulación (1) implicara estudios contaminación atmosférica y evaluación del impacto ambiental, mientras que para las decisiones políticas (2)

se aplicará en regulaciones urbanísticas e industrial .De tipo (3)se utilizará para obtener información pública como generación de ozono y redes de calidad de aire. Por último, de tipo (4) tendrán relevancia en investigaciones científicas relacionados a cambio climático, entre otros.

Tabla 7. Clasificación de los modelos en función de la escala del proceso atmosférico y fenómeno de dispersión

Escala del proceso atmosférico	Microescala	Mesoescala	Macroescala	
Escala del fenómeno de dispersión	Local	Local a regional	Regional a continental	Global
Gaussiano	1,2,4	1,2		
Semi-empírico	1,2,3,4	1,2,4		
Euleriano	1,2,4	2,3,4	2,4	2,4
Lagrangiano	4	4	2,4	
Químico receptor	(1,2),4	2,3,4	2,4	2,4
		2,4		

Fuente: Torres, 2008

3.3.1 Modelo langrangiano

Son usados para modelar el transporte de la humedad, a través de ellos podemos conocer la evapotranspiración y precipitación, debido a la amenaza del cambio climático es importante conocer el ciclo hidrológico y los cambios en el tiempo, además de conocer la relación con la atmosfera. Inicialmente se desarrolló para la dispersión de contaminantes ahora se usa para el estudio de transporte de humedad entre fuentes y sumideros (Ortúzar y Willumsen, 2008).

3.3.2 Modelo gaussiano

El sector de industria alimentaria no es ajeno al cambio climático, ya que le plantea nuevos desafíos y oportunidades en la línea de negocios sostenibles (Castro de la Mata ,2014); las emisiones que produce este sector son provenientes de las chimeneas, estas son esenciales para diversos procesos que realizan, por ende es necesario conocer la dispersión de contaminantes en la atmósfera y la composición del flujo (Warker y Warner, 2012). El aumento de los problemas de contaminación atmosférica y la normativa ambiental en los países.

Al aplicar técnicas matemáticas se puede simular los procesos químico y físico que influyen en contaminante como la dispersión y reacción en la atmósfera (Alcaide, 2000). El modelo resuelve ecuaciones de difusión generando resultados muy rápidos y aproximados (Sanín, 2002). Esta ecuación se relaciona los niveles de inmisión en un determinado punto con los contaminantes que son vertidos a la atmósfera desde la chimenea, tomando como factores principales la emisión de los gases, características climáticas y topográficas del medio receptor. El aumento y la concentración de los contaminantes van estar relacionados principalmente por la temperatura, humedad y precipitaciones (Orozco et al. , 2003). La humedad influye de manera negativa, ya que hace que la contracción de humos y polvo, mientras que el viento es un factor positivo (Bustos Salas, 2004). Al simular los contaminantes se podrá estimar la calidad de aire y se podrá determinar si los pobladores se encuentran a concentraciones de gases que sean nocivos para ellos (Vega, 2007).

3.4. Principales modelos de dispersión

Los principales modelos de dispersión de contaminantes que los países utilizan a nivel recomendados por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) y EEA (Agencia Europea del Medio Ambiente), se detallarán a continuación:

3.4.1. AEROMOD

En los países como en Colombia y Cuba, se hicieron investigaciones acerca de la simulación de los contaminantes atmosférico para simular el alcance y concentración de las emisiones en las áreas urbanas y rurales que ayudaron en la vigilancia de la calidad de aire mediante modelos matemáticos de contaminantes evaluando los impactos generados por las actividades (IDEAM, 2012). Un estudio realizado a una empresa de papel donde se realizó el modelamiento de tres contaminantes atmosféricos SO_2 , NO_2 y PST (Partículas Totales Suspendidas) con el software AERMOD View TM, las cuales provenían de una caldera y tienen como función la recuperación de productos químicos de proceso de cocción de fibra y obtención de vapor para el uso en los procesos, los resultados demostraron que la concentración de estos contaminantes, según la normativa de Colombia, no genera impactos a la población ubicada a 5 km de la fuente fija en la cual la topografía montañosa del lugar tuvo una influencia significativa (Vidal y Perez , 2018). En Cuba, se realizó un estudio sobre la dispersión de contaminantes atmosféricos en una zona industrial donde se evaluó SO_2 , NO_x y material particulado, mediante el sistema de Dispersión Gaussiana de contaminantes de AERMOD en áreas urbanas y rurales, en el cual los resultados demostraron que las concentraciones SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) superaban los límites máximos permisibles (500,50 y $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ente la zona urbana y rural, por ello, es necesario plantear medidas de control para los parámetros NO_x y material particulado, encontrados por debajo de las referencias de lo permitido, con este estudio se demostró la eficiencia de AERMOD en la concentración de contaminantes atmosféricos, en cuanto su interacción con la atmósfera. (De la Cruz et al., 2013).

3.4.2. CALINE3

Es un modelo de calidad de aire que está basada en la ecuación gaussiana y para analizar dispersión de los gases sobre una carretera, este tiene la finalidad de evaluar los impactos en la calidad del aire cercana a las instalaciones de transporte a región de microescala, además puede estimar la concentración de contaminantes en el cuerpo receptor de forma confiable a 150 metros de una carretera, sin embargo actualmente solo pueden usarse para contaminantes inertes como el monóxido de carbono(CO) y partículas (Benson ,1979) .En la ciudad de Cartagena ubicada en Panamá se aplicó el modelo CALINE3 con la finalidad de proponer una guía permita identificar los lugares donde se deberían realizar los monitoreos atmosféricos para realizar el modelamiento se juntaron datos meteorológicos ,características de las vías y el flujo vehicular por lo menos de un año de la zona, para la identificación de los lugares se tuvieron que identificar a aquellos que presenten mayor flujo vehicular, grado y concentración del CO para esto se tuvo que usar el software CALINE3 (Alvarez et al., 2016).

3.4.3. CAL3QHC/CAL3QHCR

Este modelo ha sido programado para procesar, emisiones vehiculares, volumen de tráfico y datos de señalización utilizando algoritmos básicos (Eckhoff y Braverman, 1995). En Panamá se realizó un estudio para predecir la estimación de la dispersión del monóxido de carbono (CO) mediante la aplicación del modelo CAL3QHC procedentes de vehículos ligeros en la ciudad de Maringá se utilizaron parámetros locales del tráfico, meteorológicos y factores de emisión con el modelo CMEM para determinar concentración máxima del CO se estimaron ochos sentido del viento .El valor máximo fue de 4,80 ppm debido a la influencia del viento Norte-Sur, los valores picos se ubicaron en la Avenida Duque Caxias , ya que hay gran cantidad de tránsito de peatones y vehículos, por lo que se considera la más crítica respecto a calidad de aire en la región , además se pudo observar mediante el mapa de

concentración de CO que el impacto era mayor cuando los carros se quedaban parados ,por lo que queda evidenciado la influencia del tráfico en las emisiones las posibles medidas propuestas son: reducción de tiempo de parada de los vehículos, sustitución de semáforo, por ultimo incentivo para usar transporte colectivo (Lima et al. , 2010).

3.4.4. Modelo de dispersión oceánica y costera (OCD)

Simulan el efecto de las emisiones en alta mar que se encuentre en las regiones costeras, este modelo ha sido actualizado incorporando la dispersión y transporte de la pluma sobre el agua así como los cambios que generarían si el penacho cruza la costa, para ello se necesitan datos meteorológicos tanto en el agua como el aire las mediciones que se realizan son la velocidad y dirección del viento, altura de mezcla, temperatura de aire, humedad relativa. Para la dispersión de los contaminantes sobre el agua es necesario determinar la turbulencia. El modelo de briggs se usa como una de las técnicas para cambiar la tasa de crecimiento de la pluma como el penacho sobre el agua (DiCristofaro y Hanna, 1989).Corresponde a un modelo gaussiano que ayuda a determinar impactos sobre fuentes que se ubican fuera de la costa, puntual, lineal sobre la calidad de aire en las regiones costeras (Martin, 2006).

En Santa Marta ,uno de los lugares turísticos de Colombia, se ubica en el margen costero y se caracteriza por tener puertos donde se transporta el carbón por barcos provenientes de las minas del Cesar y la Guajira se realizó una investigación donde se analizó la variación espacio-temporal de los gases como el material particulado(PM_{10}) material particulado suspendido(PTS), debido a que se presenciaron antecedentes de contaminación atmosférica ocasionadas por actividades portuarias para muestrear se utilizó la metodología de la EPA y para determinar la dispersión de los contaminantes se aplicaron dos tipos de modelos el modelo de dispersión oceánica costera (OCD) y el Source Complex Short Term (ISCST) de

lo cual se pudo concluir que hay concentraciones significativas de los y predominantes en el norte y sur de esta ciudad (Vergara y Garcia, 2013).

3.5. Importancia del modelamiento

3.5.1. Evaluación del impacto ambiental

El Ministerio del Ambiente propuso una guía para la delimitación del área de influencia, la cual es importante para la elaboración de la línea base e identificación impactos ambientales, este permite delimitar el ámbito en el cual se va desarrollar un proyecto. En varios estudios ambientales se ha usado la herramienta del modelamiento, ya que es fácil de aplicar y reduce la probabilidad de error (MINAM, 2016).

3.5.2. En la calidad de aire

Las investigaciones que se hace acercan sobre la modelación contribuye a la elaboración de normas y leyes que contralen las emisiones de los distintos sectores, determinando limites máximo permisibles, además ayuda a elegir sitios adecuados para las posibles fuentes de contaminantes , de esta forma se reduce el impacto ambiental. Por otro lado, también se puede usar en los planes de contingencia y estrategias para que no hay una contaminación aguda en una lugar específico también brinda información para deslindar responsabilidades en cuanto niveles de contaminación ya existentes (Zannetti, 1990). No obstante, no debe sobreestimarse ya que al igual que los monitoreo no son la solución al problema de la contaminación atmosférica, pues este es más complejo, el modelamiento solo aporta a la solución del problema brindando información para la elaboración de estrategias de control y mitigación de las emisiones (Salcido et al. , 1993).

II. CONCLUSIÓN

Se concluye que no hay suficiente normativa en cuanto a las emisiones gaseosas provenientes de las industrias, pues solo se cuenta con Límite Máximo Permisibles respecto industria de cemento, cerveza y curtiembre. No existe control de los gases de combustión que se liberan por las chimeneas producto del uso de los hornos y calderas de las industrias, lo cual puede generar un riesgo para la salud de la población

El uso del modelamiento es una herramienta para la formulación de nuevas normas, así como un aporte a la investigación, en la solución de problemas que hay en calidad de aire en el Perú. Por otro lado, no se está avanzando respecto a reportar las emisiones de GEI desde el 2012, no se han hechos nuevos reportes de acuerdo a lo establecido con la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), y en las medidas que ayuden a reducir estas emisiones por parte de la industria.

III. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaide, M. (2000). *Efectos ambientales del tráfico urbano: la evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, España.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (1997). *Mercury Study Report to Congress: Fate and Transport of Mercury in the Environment*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttn/atw/112nmerc/volume3.pdf>

Alvarez, V. , Quiñones, E., Huertas, M., Arciniegas , C., Berdugo, J., & Ramírez , D. (2016). Metodología para la selección de sitios de monitoreo atmosférico en zonas urbanas afectadas por las emisiones de fuentes móviles. *Revista UIS Ingenierías*, 15(2), 73–84. <https://doi.org/10.18273/revuin.v15n2-2016006>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades .(2007). Perfil toxicológico del plomo. *Division of Toxicology and Health Human Sciences* , (6), 1–2. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.pdf

Aramendi, S., Sarasua, M. , Marañón, J. , San Martín , A., Villanueva, J. (2001). Industria Alimentaria y Medio Ambiente. Recuperado de https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ud_fp_ea/es_def/adjuntos/UD_FP_Industria%20alimentaria%20y%20medio%20ambiente_2004HR.pdf

Beatriz, M. (2017). *Informe defensorial N° 116:La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitante*. Recuperado de <http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/ApoyComisiones/comision2011.nsf/021documentos/>

8B420108E4101D0705258154005B4D7F/\$FILE/Informe_N_116.pdf

Benson ,P. (1979). *CALINE3 - Un modelo de dispersión versátil para predecir los niveles de contaminación del aire cerca de carreteras y calles arteriales*. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttn/scram/userg/regmod/caline3.pdf>

Baldasano, J. (2000). Modelos de dispersión de contaminantes. Guía metodológica.

Ministerio de Medio Ambiente

De la Cruz, F., Furet, N., Turtós, L., & Lorente, M. (2013). La dispersión atmosférica de contaminantes en una zona industrial de Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 42, 1–8.

Díaz, G. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia Y Sociedad*, 37 (2), 227-240. Recuperdo de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>

DiCristofaro, D. y Hanna, S. (1989). Modelo de dispersión costera y costa afuera (OCD). Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttn/scram/userg/regmod/ocdugsup.pdf>

Eckhoff, P. y Braverman, T. (1995). *Addendum to the user's guide to CAL3QHC version 2.0 (CAL3QHCR user's guide)*. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttn/scram/userg/regmod/cal3qhcrug.pdf>

Echeverri,C.(2019).Contaminación atmosférica. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=QzSjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=contaminaci%C3%B3n+atmosf%C3%A9rica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiMjd-Qm-_rAhVDHrkGHSCABKAQ6AEwAnoECAYQAq#v=onepage&q=contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica&f=false

Gallego, A. , Gonzáles , I., Sánchez , B. , Fernández, P. ,Garcinuño, R. ,Bravo J. , Pradana, J. ,Garcia , A. , Durand, J. (2018). *Contaminación Atmosferica*..Recuperado de

<https://books.google.com.pe/books?id=7xYvtMyRP7EC&printsec=frontcover&dq=Contaminaci%C3%B3n+Atmosferica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj49tzvuOfrAhW0BtQKHdW3AHQQ6AEwBnoECAgQAg#v=onepage&q&f=false>

Greenfacts .(2006). *Contaminación del Aire Dióxido de Nitrógeno*. Recuperado de <https://www.greenfacts.org/es/dioxido-nitrogeno-no2/dioxido-nitrogeno-no2-greenfacts.pdf>

INDECOPI.(2009). *Norma Técnica Peruana-Estandares de eficiencia termica y etiquetado de calderas industriales*. Recuperado de http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/11._NTP-350.301-2009-Calderas-estandares-eficiencia_-_Peru.pdf

Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales.(2012). *Informe de estado de la calidad del aire en Colombia 2007 -2010*.Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALIDADDELAIREWEB.pdf>

Instuto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo . (2011). *NTP 315: Calidad del aire: gases presentes a bajas concentraciones en ambientes cerrados*. Recuperado de https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_315.pdf/63c9f422-9414-4ed3-8266-8d8bfa1d2ab5

Inche , J. (2007).*Gestión de la calidad del aire:causas,efectos y soluciones*. Recuperado de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/geologia/gestion_calidad/ficha.htm

Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., Gryparis A., Le Ta., Monopolis Y., et al.(2001).
 Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total

mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 12(5), 521–531. doi: 10.2307/3703877

Lima, E. , Demarchi, S., y Gimenes, M. (2010). Uso del modelo de dispersión CAL3QHC para estimar la dispersión de CO en la región central de Maringá, Estado de Paraná. *Acta Scientiarum - Technology*, 32(3), 261–269. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3032/303226528004.pdf>

Linares, C., & Díaz, J. (2008). Las PM_{2,5} y su afección a la salud. *El Ecologista*, 58, 46–49. Recuperado de https://www.um.es/estructura/servicios/sprevencion/c-seguridad/documentos/EE_58_PM25.pdf

Mage, D., Ozolins, G., Peterson, P., Webster, R. (1996). Urban air pollution in megacities of the world. *Atmospheric Environment*, 30(5), 681–686. Recuperado de <http://alpha.chem.umb.edu/chemistry/ch471/documents/mageetal.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2009). Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM: Aprueba Límites Máximos Permisibles para las emisiones de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_011-2009-minam.pdf.

Ministerio del Ambiente. (2010). *Aire limpio para todos*. Recuperado de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/430.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2012). Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 2012. Recuperado de <http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/2012.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2001). Decreto Supremo N° 074-2001-PCM-Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. Recuperado de

http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/DS-074-2001-PCM.pdf

Ministerio del Ambiente.(2016).Informe: Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/tercera-comunicacion-nacional-peru-convencion-marco-las-naciones>

Ministerio del Ambiente. (2016). *Evaluación del impacto ambiental (2011-2016)*.Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/evaluacion-impacto-ambiental-2011-2016>

Ministerio de la Producción. (2002). *Decreto Supremo N° 003-2002-Produce- Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel*. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

Ministerio del Ambiente. (2016). El Protocolo Nacional de Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones – CEMS. Lima: Resolución Ministerial N° 201-2016-MINAM. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-201-2016-MINAM.pdf>.

Martin, F. (2006). *Inventario de modelos utilizados para calidad del aire: quinto seminario de Calidad del Aire en España*. Santander: Ciemat

Orozco , C., Pérez , A., Gonzáles, M. ,Rodriguez, F., Alfayate, J. (2003). *Contaminación ambiental : Una visión desde la química*.Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=nUoOx-8knyUC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Ortúzar, J. y Willumsen, L. (2008). *Modelos de Transporte*. Recuperado de

<https://leerlaciudadblog.files.wordpress.com/2016/05/ortc3bazar-y-willumsen-modelos-de-transporte.pdf>

Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev Chil Enf Resp*,(26), 16-25. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>

Organización Mundial de la Salud .(2000). *Air Quality Guidelines for Europe*. Recuperado de https://www.airparif.asso.fr/_pdf/normes-oms-2000.pdf

Panel Intergubernamental de Cambio Climático . (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. de síntesis* (4). Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf

Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo.(2019). *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2013/10/CDAM0000323.pdf>

Robertson, P.(2004). *Reducción del óxido nitroso, el metano y otros gases de efecto invernadero distintos del CO₂: la necesidad de un enfoque de sistemas*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/304047579_Abatement_of_nitrous_oxide_methane_and_the_other_non-CO_2_greenhouse_gases_the_need_for_a_systems_approach

Sanín, N. (2002). *Construcción de un modelo tridimensional para ajuste de campos de viento y dispersión de contaminantes en la atmósfera* (tesis de doctorado). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.

Seoáñez, M., Bellas, E., & Seoáñez, P. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión*. Recuperado de https://books.google.co.cr/books/about/Tratado_de_la_contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica.html?id=dw6rqAIrje0C

- Salcido A., Saldaña R., Alvarado N. y Morales M. (1993). *Informe final del Estudio de la Micrometeorología del Valle de México*. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Torres, A. (2008). *Aplicación práctica del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos – ISCST3*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20153/aplicacion-practica-del-modelo-de-dispersion-de-contaminantes-atmosfericos-iscst3>
- Tian , H., Hao, J.,Hu, M. y Nie, Y.(2007). Tendencias recientes de consumo de energía y contaminación del aire en China.*Revista de ingeniería energética*, 133 (1),4-1. doi: 10.1061 / (asce) 0733-9402 (2007) 133: 1 (4)
- Useros, J. (2013). El Cambio Climático: Sus Causas Y Efectos Medioambientales. *Anales De La Real Academia De Medicina Y Cirugía De Valladolid*, 50,71-98.Recuperado de <https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/CC-causas-efectos-medioambientales.pdf>
- Venegas, L. y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*,1–11. Recuperado de <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/cliv2/public/actas-congreso/15.Venegas.CLIV2.pdf>
- Vergara, E. y Garcia, F. (2013). Simulación de la dispersión del material particulado proveniente de actividades portuarias en Santa Marta. *Épsilon*, 21, 41–55. Recuperado de <http://oaji.net/articles/2015/2065-1432478126.pdf>
- Vidal ,O., y Perez ,A. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31. <https://doi.org/10.14483/23448393.12262>
- Vega, J. (2007). *Química del Medio Ambiente*. México: Alfaomega.

Wark, K., y Warner, C. (2012). *Contaminación del Aire: Origen y Control*. México: Limusa.

Zannetti P. (1990) . *Air Pollution Modeling: Theories, Computational Methods, and Available*

Software .Recuperado de <https://www.springer.com/gp/book/9781475744675>