

Análisis del comportamiento de las emisiones de motocicletas en el área metropolitana de Bucaramanga, al proponer un esquema de implementación de un modelo de movilidad sostenible.

Jhon Wilmar Pinto Díaz y Jhonatan Fabian González Jaimes

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Jorge Luis Chacón Velasco

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y un privilegio ser su hijo.

A mi hermana por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindo a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos

Y a mis amigos Dayber, Silvia, Laura, Julian y Fabian por estar conmigo en todo momento y darme todo el apoyo que necesitaba para llevar a cabo mis metas.

Jhon Wilmar Pinto Diaz

Dedicatoria

Dedico este logro especialmente a mi madre Marlene Jaimes Galvis, por su amor, paciencia y apoyo; me enseñó la pureza del amor gracias a la incondicionalidad y confianza que depositó en mí. Gracias por ser y seguir siendo mi motivación en cada paso, es por y para ti, un abrazo al cielo.

A mi padre Lorenzo González Meneses, por el apoyo y confianza en cada proyecto. Gracias por la disciplina y el compromiso que siempre inculcó en mí; por incentivar me en todo momento la superación en cada aspecto de mi vida.

A cada uno de mis hermanos, hermanas, cuñados y sobrinos, que estuvieron presentes en cada momento, brindándome buena energía, llenándome de alegría teniendo la ilusión de verme alcanzar este logro.

A Silvia, Jhon, Paula, Wendy, Zareth, Bayer y Yoseth por incondicionalmente brindarme una mano amiga, por hacerme sentir acompañado y porque sin un ustedes nada de esto sería posible.

Jhonatan Fabián González Jaimes.

Agradecimientos

Los autores de esta investigación expresas su agradecimientos a:

La Universidad Industrial de Santander, la Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas y la Escuela de Ingeniería Mecánica.

El semillero de Investigación: Movilidad Sostenible y, a los docentes William Pinto Hernández y Jorge Luis Chacón Velasco.

Profesionalmente a Marianita Ordoñez y Laura Hernández.

Personalmente a Brayan Quispe, Carlos Patiño, Carlos Pinilla, Daniela Salas, Jeison Amado, Jhon Fredy González, Julián Colmenares, Paula Hernández y Ronald Parra.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Descripción del problema	15
2. Justificación	16
3. Objetivos	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos.....	17
4. Marco teórico	18
4.1 Motores para motocicleta.....	18
4.1.1 Motores de cuatro tiempos.....	18
4.1.2 Motores de dos tiempos	19
4.2 Combustión	19
4.3 Motores de combustión interna.....	20
4.4 Emisión de contaminantes	20
4.4.1 Óxidos de nitrógeno	20
4.4.2 Monóxido de carbono	20
4.4.3 Emisiones del efecto invernadero o dióxido de carbono.	21
4.4.4 Hidrocarburo hexano.....	21
4.5 Series temporales	21
4.5.1 Tendencia (T).....	22
4.5.2 Componente cíclica (C)	22
4.5.3 Componente estacional (S)	22
4.5.4 Componente aleatorio o irregular (I).....	22

4.6 Modelos ARIMA	22
4.6.1 Modelos Auto Regresivos (AR).....	22
4.6.1.2 Correlograma simple AR.	23
4.6.1.3 Correlograma parcial AR	23
4.6.2 Procesos de medias móviles (MA).....	23
4.6.2.1 Correlograma simple MA	24
4.6.2.2 Correlograma parcial MA	24
4.6.3 Modelos Auto Regresivos de medias móviles (ARMA)	24
4.6.3.1 Correlograma simple ARMA.....	25
4.6.3.2 Correlograma parcial ARMA.....	25
4.7 Norma técnica colombiana NTC 5365.....	25
5. Metodología	26
5.1 Motocicletas más usadas en el área metropolitana de Bucaramanga.....	26
5.2 Realización de prueba de emisiones	27
5.2.1 Búsqueda de motocicleta	27
5.2.2 Prueba de emisión a la población muestra (NTC 5365).	27
5.2.3 Tabulación de información de emisiones.....	27
5.3 Graficas de predicciones de emisiones hasta el año 2031.....	27
5.3.1 Ecuación de motos registradas por cada año, para encontrar el registro de motos desde el año 2010 hasta 2021.	27
5.3.2 Promedio global de emisiones anual.....	28
5.3.3 Emisiones Acumuladas	29
5.3.4 Predicción de emisiones en los próximos diez años con Series Temporales	29

5.3.5 Corrección de datos con intervalos de confianza.	30
5.4 Proponer sistema de implementación.	31
5.5 Graficas de emisiones llevando a cabo el Plan de Implementación hasta el año 2031.	31
5.5.1 Predicción del registro de motocicletas en los años hasta 2031.	31
5.5.2 Reducción del registro acumulado del 2% anual desde 2021	31
5.5.3 Gráfica de emisiones reducidas.	32
5.5.4 Gráficos de confianza: Gráfico de emisiones con plan implementado.	32
5.6 comparativa entre las dos graficas de años vs emisiones.	32
6. Resultados y discusión	32
6.1 Registro de motos por modelos.	32
6.1.1 Registro en Bucaramanga	33
6.1.2 Registro en Floridablanca	33
6.1.3 Registro en Girón	34
6.1.4 Registro en Piedecuesta	35
6.1.5 Registro en el Área metropolitana de Bucaramanga.	35
6.2 Emisiones de las treinta motos estudiadas	37
6.3 Gráfica de predicción de emisiones	38
6.3.1 Ecuación de registro de motocicletas y registro del 2010 a 2021	39
6.3.2 Promedio global de emisiones	40
6.3.3 Emisiones acumuladas	42
6.3.4 Aplicación de series temporales en predicción de emisiones	43
6.3.4.1 Análisis de series temporales de emisiones Hexano	43
6.3.4.2 Análisis de series temporales de emisiones Monóxido.	44

6.3.4.3 Análisis de series temporales de emisiones Dióxido	45
6.3.5 Gráfica de años vs predicciones de emisiones con intervalos de confianza	46
6.3.5.1 Grafica predicciones de emisiones de Hexano.....	46
6.3.5.2 Grafica predicciones de emisiones de Monóxido	48
6.3.5.3 Grafica predicciones de emisiones Dióxido.....	50
6.4 Gráfica de predicción de emisiones con el plan de implementación aplicado.....	52
6.4.1 Aplicación de series temporales en predicción del registro de motocicletas	53
6.4.2 Implementación del 2% anual en el registro de motos	54
6.4.3 Gráfica de años vs emisiones con el plan sostenible implementado, y con intervalos de confianza.....	55
6.4.3.1 Emisiones acumuladas de Hexano al año 2031 con la implementación eléctrica.	56
6.4.3.2 Emisiones acumuladas de Monóxido al año 2031 con la implementación eléctrica.	58
6.4.3.3 Emisiones acumuladas de Dióxido al año 2031 con la implementación eléctrica.....	60
6.5 Comparativa de las emisiones con y sin implementación de vehículos eléctricos	61
6.5.1 Comparativa de Hexano con y sin plan de implementación.	62
6.5.2 Comparativa de Monóxido con y sin plan de implementación.....	63
6.5.3 Comparativa de Dióxido con y sin plan de implementación.	64
7. Conclusiones	66
8. Recomendaciones.....	67
Referencias bibliográficas.....	68

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Registro automotor en Bucaramanga.....	33
Tabla 2 Registro automotor en Floridablanca.....	33
Tabla 3 Registro automotor en Girón	34
Tabla 4 Registro automotor en Piedecuesta.....	35
Tabla 5 Registro automotor en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	36
Tabla 6 Top 5 de modelos más registrados en el Área Metropolitana de Bucaramanga	36
Tabla 7 Pruebas de emisiones: Killometrálje, modelo, hexano, monóxido y dióxido.....	37
Tabla 8 Registro de motos años: 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021	39
Tabla 9 Registro de motocicletas del 2010 al 2021, con corrección 2020	40
Tabla 10 Promedio de emisiones anual para cada motocicleta.....	40
Tabla 11 Emisiones acumuladas por año hasta 2021.....	42
Tabla 12 Combinaciones de p y q para predicción de emisiones de Hexano	43
Tabla 13 Combinaciones de p y q para predicción de emisiones de Monóxido.....	44
Tabla 14 Combinaciones de p y q para predicción de emisiones de Dioxido	45
Tabla 15 Desviación estandar e intervalos de confianza para contaminantes con sigma 68% y 95%.....	46
Tabla 16 Predicción de emisiones de Hexano hasta 2031	47
Tabla 17 Predicción de emisiones de Monóxido hasta 2031	49
Tabla 18 Predicción de emisiones de Dióxido hasta 2031	51
Tabla 19 Combinaciones de p y q para predicción de registro de motos	53
Tabla 20 Predicción de registro de motocicletas hasta 2031	54

Tabla 21 Registro acumulado con plan sistenable del 2% implementado	55
Tabla 22 Desviación estandar e intervalo de confianza de contaminantes con sigma 68% y 95% cn el plan sostenible implementado.....	56
Tabla 23 Emisiones de Hexano con plan sostenible implementado hasta 2031	56
Tabla 24 Emisiones de Monóxido con plan sostenible implementado hasta 2031.....	58
Tabla 25 Emisiones de Dióxido con plan sostenible implementado hasta 2031	60

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Fases de un motor de 4 tiempos	18
Figura 2 Fases de un motor de 2 tiempos de barrido por cráter.....	19
Figura 3 Correlogramas simples y parcial más comunes en modelo AR	23
Figura 4 Correlogramas simples y parcial más comunes en modelo MA	24
Figura 5 Correlogramas simples y parcial más comunes en modelo ARMA.....	25
Figura 6 Registro de los 5 motos más registradas en el Área Metropolitana de Bucaramanga....	37
Figura 7 Correlograma parcial y total con AIC menor para Hexano.....	44
Figura 8 Correlograma parcial y total con AIC menor para Monóxido	45
Figura 9 Correlograma parcial y total con AIC menor para Dióxido.....	46
Figura 10 Predicción de emisiones de Hexano con intervalos de confianza	48
Figura 11 Predicción de emisiones de Monóxido con intervalos de confianza.....	50
Figura 12 Predicción de emisiones de Dióxido con intervalos de confianza	52
Figura 13 Correlograma parcial y total para AIC menor para registro automotor	53
Figura 14 Predicción de emisiones de Hexano con plan de implementación aplicado	57
Figura 15 Predicción de emisiones de Monóxido con plan de implementación aplicado	59
Figura 16 Predicción de emisiones de Dióxido con plan de implementación aplicado.....	61
Figura 17 Comparativa de emisiones de Hexano con y sin plan sostenible	62
Figura 18 Comparativa de emisiones de Monóxido con y sin plan sostenible.....	63
Figura 19 Comparativa de emisiones de Dióxido con y sin plan sostenible	65

Lista de Apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. NTC 5364: Calidad del Aire.

Apéndice B. Registro de motocicletas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Apéndice C. Registro de pruebas de emisiones.

Apéndice D. Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica.

Apéndice E. Predicción de emisiones con mapa actual.

Apéndice F. Predicción de registros con plan sostenible implementado.

Resumen

Título: Análisis del comportamiento de las emisiones de motocicletas en el área metropolitana de Bucaramanga, al proponer un esquema de implementación de un modelo de movilidad sostenible.*

Autor: Jhon Wilmar Pinto Diaz, Jhonatan Fabián González Jaimes**

Palabras Clave: Emisiones, Hexano, Monóxido, Dióxido, Series temporales.

Descripción:

Las emisiones de contaminantes producidas por el parque automotor derivados de la combustión de hidrocarburos como es el caso de la gasolina, están compuestas por tres principales gases: Hexano, Monóxido y Dióxido de carbón, siendo este ultimo la principal causa del calentamiento global.

Son múltiples las formas en que estas emisiones pueden ser reducidas, en este trabajo de investigación se estudió el impacto de las emisiones en un transcurso de 10 años, si se implementara un plan sostenible del 2% de motos sobre el registro anual en el área metropolitana de Bucaramanga. El análisis de este impacto comprendió el registro de motocicletas en los años 2019, 2020 y 2021 en las cuatro ciudades que comprenden el área, y mediante la NTC 5365 realizar el análisis de gases a 30 motos del modelo más registrado en la zona. Emisiones que permitieron realizar una predicción a través de series temporales en XRealStats-Excel del comportamiento de estas en el tiempo si se siguiera el panorama actual y, si se llevara a cabo la implementación de motos eléctricas y su impacto.

Finalmente, los resultados evidenciaron que al predecir las dos alternativas en el tiempo, dentro de 10 años se tendrá una reducción por encima del 6% de los gases contaminantes respecto al mapa actual, también que el dióxido de carbono es el gas más emitido en promedio y que la reducción de gases a medida que avanzan los años, es cada vez más notable con un plan sostenible que permitiría que la tendencia de nuevas emisiones sea cero.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Jorge Luis Chacón Velazco. Ingeniero Mecánico.

Abstract

Title: Analysis of the behavior of motorcycle emissions in the metropolitan area of Bucaramanga, by proposing an implementation scheme of a sustainable mobility model. *

Author(s): Jhon Wilmar Pinto Diaz, Jhonatan Fabián González Jaimes**

Key Words: Emissions, Hexane, Monoxide, Dioxide, Time series.

Description:

The pollutant emissions produced by the vehicle fleet derived from the combustion of hydrocarbons, such as gasoline, are made up of three main gases: Hexane, carbon monoxide and dioxide, the latter being the main cause of global warming.

There are multiple ways in which these emissions can be reduced, in this research work the impact of emissions over a 10-year period was studied, if a sustainable plan of 2% of motorcycles over the annual registration in the metropolitan area of Bucaramanga was implemented. The analysis of this impact included the registration of motorcycles in the years 2019, 2020 and 2021 in the four cities that comprise the area, and through NTC 5365, carry out the gas analysis on 30 motorcycles of the most registered model in the area. Emissions that allowed a prediction to be made through time series in XRealStats-Excel of their behavior over time if the current scenario were followed and, if the implementation of electric motorcycles and their impact were carried out.

Finally, the results showed that by predicting the two alternatives over time, within 10 years there will be a reduction of over 6% of polluting gases compared to the current map, also that carbon dioxide is the most emitted gas on average. and that the reduction of gases as the years go by, is increasingly notable with a sustainable plan that would allow the trend of new emissions to be zero.

*Degree Work

** Physicomechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Director: Jorge Luis Chacón Velazco. Mechanical Engineer.

1. Descripción del problema

En los últimos años se ha visto un crecimiento del parque automotor en Colombia, concentrados en las ciudades principales y centros urbanos, esto ha generado que las fuentes móviles sean uno de los principales generadores de contaminantes atmosféricos. Según la guía para la elaboración de inventario de emisiones atmosféricas del Ministerio de ambiente y desarrollo en el año 2017, en Colombia se cuenta con 6'729.053 de motocicletas registradas, representando el 55,43% del total de vehículos del país. Esta misma guía expone que entre los contaminantes que estos producen se incluyen precursores de ozono, sustancias acidificantes, sustancias tóxicas y compuestos orgánicos persistentes.

Con el fin de reducir emisiones y desarrollar nuevas tecnologías sostenibles, los países desarrollados cada vez tienen más fuerte el esquema de implementación de motocicletas eléctricas, según la Asociación Europea de Fabricantes de Motocicletas (ACEM) las ventas de motos eléctricas en Europa se duplicaron en el 2019 respecto al año anterior, donde se facturaron hasta 6.901 motocicletas eléctricas.

Colombia es un país en proceso de desarrollo, aunque la intención de compra de motocicletas eléctricas es bastante alta, hace falta un esquema de ejecución para incorporarlas; por lo que nace la necesidad de proponer un plan para el reemplazo de vehículos de dos ruedas a motocicletas eléctricas, comenzando con cascos urbanos como el área metropolitana de Bucaramanga, en donde se sugiere una estrategia de implementación de un modelo de transición a motos eléctricas, con el fin de darle fuerza a esta tecnología en el país y con el que se permita evidenciar el impacto en las emisiones atmosféricas al ejecutar este modelo.

2. Justificación

La movilidad hace parte de la cotidianidad de las personas contribuyendo al desarrollo de la vida de estas, con esto se hace imprescindible el uso de vehículos. Sin embargo, en las áreas urbanas los automóviles, en especial de dos ruedas, representan un gran aporte de contaminantes al medio ambiente, por lo que se convierte una necesidad mitigar las emisiones producidas por ellos. Para comenzar, el objetivo entonces debe enfocarse en conocer el comportamiento de las emisiones, con el fin de dejar la posibilidad de proponer un mecanismo de transición a vehículos menos contaminantes como lo son los eléctricos.

La producción de emisiones genera múltiples afectaciones en el ambiente y acelera adversidades como el efecto invernadero, junto con todo esto puede desarrollar enfermedades de tipo respiratorio en las personas, por esta razón se deben comenzar estudios para la transformación de la matriz energética del país, más en actividades que no pueden ser evitadas con lo sería la movilidad urbana.

Además de esto, existen muchas tecnologías que han sido desarrolladas e implementadas en otros países y que aún no se encuentran en funcionamiento en Colombia, como lo son los vehículos eléctricos; por este motivo construir un estudio basado en las emisiones, donde se proponga una estrategia de transición a vehículos eléctricos, contribuye a investigaciones cercanas a la ingeniería mecánica y de la mano con el semillero de movilidad sostenible se diseñe la posibilidad de implementar la movilidad eléctrica en el país.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Proporcionar un estudio de la emisión de gases de vehículos de dos ruedas en el área metropolitana de Bucaramanga, por medio de un análisis experimental de contaminantes atmosféricos, al proponer la implementación de un plan de transición de movilidad eléctrica para este tipo de vehículos contribuyendo a la misión de la universidad industrial de Santander de generar conocimiento de investigación de la mano con el semillero de movilidad sostenible.

3.2 Objetivos Específicos

Identificar el vehículo de dos ruedas con más uso bajo estudios de los boletines de tránsito municipales, para decretar la referencia más utilizada.

Determinar las emisiones producidas del modelo de motocicleta más usado de forma experimental mediante el análisis de gases del laboratorio a diferentes kilometrajes, basados en la Norma Técnica Colombiana NTC 5365 sobre calidad del aire y evaluación de gases de escape en motocicletas.

Ajustar un modelo en el que se visualice el comportamiento de las emisiones producidas en relación con el kilometraje de motocicletas en el transporte de pasajeros, utilizando el análisis de series temporales.

Proponer un modelo de transición para el reemplazo de vehículos de dos ruedas a motocicletas eléctricas en el transporte de personas, para determinar el impacto en la emisión de gases contaminantes, mediante el modelo desarrollado.

4. Marco teórico

4.1 Motores para motocicleta

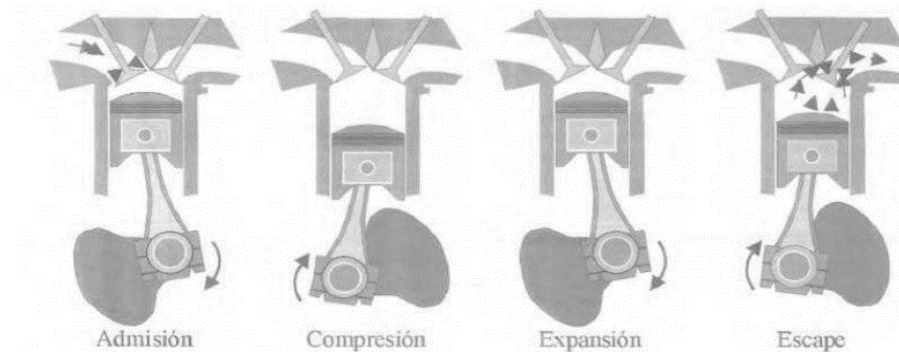
Para las motocicletas se pueden clasificar dos tipos de motor según la cantidad de tiempos que necesite para realizar un ciclo de trabajo, como son los motores de cuatro tiempos y motores de dos tiempos. (Motores de combustión interna alternativos, Desantes. J & Navarro. E, 2011)

4.1.1 Motores de cuatro tiempos

La denominación de este tipo de motor se debe a las cuatro carreras que recorre el embolo o dos vueltas del cigüeñal para completar el ciclo. Las cuatro fases son: admisión en la que se crea una depresión interna para la entrada de gases; compresión generada por el cierre de válvulas y es la etapa en la que con una chispa se produce la combustión; expansión originada por el aumento de presión en los gases por combustión y para completar el ciclo el escape, en la que por medio de la válvula de escape se expulsan los gases quemados al exterior. Estas etapas se ilustran en la *Figura 1*. (Desantes. J & Navarro. E, p.28)

Figura 1

Fases de un motor de cuatro tiempos.



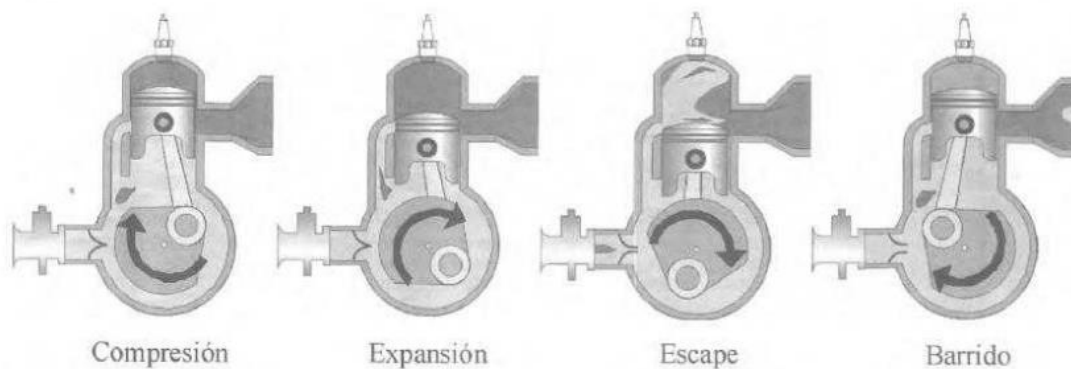
Nota: La figura representa las etapas que forman un motor de cuatro tiempos. Adaptado de: Desantes. J & Payri. F. (2011). Motores de combustión interna alternativos.

4.1.2 Motores de dos tiempos

En los motores de dos tiempos se realiza un ciclo de trabajo en un giro del cigüeñal o en dos carreras del embolo; al igual que en los motores de cuatro tiempos están presentes las mismas fases para un ciclo, sin embargo en el proceso de renovación de carga esta la principal diferencia, ya que la fase de escape y de admisión ocurren al mismo tiempo para formar el proceso denominado barrido, en el cual los gases incorporados en la admisión expulsan los quemados por combustión, debido a que tienen una mayor presión que los ya trabajados. (Desantes. J & Navarro. E, p.30)

Figura 2

Fases de un motor de dos tiempos de barrido por cárter.



Nota: La figura representa las etapas que forman un motor de dos tiempos. Adaptado de: Desantes. J & Payri. F. (2011). Motores de combustión interna alternativos.

4.2 Combustión

En las motocicletas normalmente se tienen motores de encendido provocado (MEP), en este modelo la combustión se produce por una chispa entre los electrodos de la bujía que reacciona con la mezcla de aire y combustible, debido al avance de un frente de llama que parte de la bujía y que siempre separa los gases frescos de los gases quemados. (Desantes. J & Navarro. E, p.27)

4.3 Motores de combustión interna

Los motores de combustión interna son aquellos en los que la quema de combustible ocurre dentro del motor, esta quema de combustible genera diferentes emisiones de material particulado que es expulsado directamente a la atmosfera; y todas las motocicletas que funcionan con gasolina cuentan con este modelo de motor. (Mecánica de la motocicleta, William. H & Donald. L, 1992)

4.4 Emisión de contaminantes

El proceso de combustión lleva consigo un problema imprescindible como es la emisión de contaminantes ambientales. Los contaminantes más importantes derivados del proceso de combustión son los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados y los óxidos de nitrógeno, además de las partículas, monóxido de carbono, óxidos de azufre y gases que contribuyen al efecto invernadero como el dióxido de carbono. (Motores de combustión interna alternativos, Ballesteros. L & Lapuerta. M, 2011)

4.4.1 *Óxidos de nitrógeno*

Estos contaminantes se presentan en la combustión y son de forma genérica los óxidos de nitrógeno, mayormente óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Los óxidos de nitrógenos son uno de los principales participantes en la formación de lluvia acida, también contribuyen a la reducción de la capa de ozono que facilitaría el paso de radiación ultravioleta en la tierra y, además de esto, algunos cuentan con olores que irritan y provocan afectaciones pulmonares. (Ballesteros. L & Lapuerta. M, p.419)

4.4.2 *Monóxido de carbono*

El monóxido de carbono (CO) es uno de los contaminantes más importantes y presentes en los procesos de combustión. La formación de CO se debe a la disociación del dióxido de carbono y, aunque en el motor de gasolina se tiene un proceso con residencia corto ideal para no emitir este

contaminante, las temperaturas bajan tan rápido que congelan la reacción y producen el gas. Esta molécula es perjudicial debido que reduce la capacidad de transportar oxígeno al combinarse con la hemoglobina primero que el oxígeno, produciendo dolor de cabeza, cansancio y somnolencia. (Ballesteros. L & Lapuerta. M, p.425)

4.4.3 Emisiones del efecto invernadero o dióxido de carbono.

De los contaminantes más reconocidos al efecto invernadero son las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) causadas en gran cantidad por los motores de combustión interna. Las emisiones de CO₂ de un vehículo se ven afectadas no solo por sus condiciones de operación sino además de esto por el combustible, esta dependencia se manifiesta por la proporción hidrógeno/carbono y de oxígeno/carbono. Los combustibles con poco carbono y por tanto poca emisión de CO₂, como el metanol, gas natural e hidrogeno, son muy poco habituales en el apartado automotriz en la actualidad. (Ballesteros. L & Lapuerta. M, p.441,442)

4.4.4 Hidrocarburo hexano

El hexano es uno de los contaminantes emitidos al momento de realizar la combustión interna, este contaminante es un material particulado más exactamente un hidrocarburo alifático saturado con un olor similar a la gasolina que tiene un peso mayor al del aire. (Neuropatía por n-hexano. Valdivia-Infantas, M., & Quevedo, M. 2019)

4.5 Series temporales

Serie Temporal es el análisis estadístico que se define como la secuencia y colección de datos que toma una variable a lo largo del tiempo, y que se hace de forma equiespaciada. El estudio descriptivo de las series temporales se basa en descomponer la variable de la serie en elementos básicos. (Análisis de series temporales para ingenieros, García. J, 2016)

Según García. J, el estudio de series temporales considera que se ven intervenidas cuatro componentes:

4.5.1 Tendencia (T)

Refleja la evolución de la serie en un tiempo largo y tiene diferente naturaleza como estacionaria, lineal, exponencial u otras posibilidades.

4.5.2 Componente cíclica (C)

Esta componente recoge las oscilaciones periódicas de amplitud del sistema superior a un año y, solo puede ser caracterizada cuando se disponga de un largo antecedente de la serie.

4.5.3 Componente estacional (S)

Se refiere al apartado que reúne las oscilaciones que se generan en periodos de tiempo igual o inferiores a un año.

4.5.4 Componente aleatorio o irregular (I)

Es por concepto una variable imprevisible, ya que acota las fluctuaciones generadas por eventos imprevisibles que actúan en mayor o menor medida.

4.6 Modelos ARIMA

El modelo auto regresivo integrado de promedio móvil o ARIMA, representa la influencia de valores y ruido de forma aleatoria en la variable de estudio, basados en tiempos anteriores correspondiente a cada momento de la variable. (Introducción al tratamiento de series temporales: Aplicación a las ciencias de la salud, Aguirre. A, 1994)

4.6.1 Modelos Auto Regresivos (AR)

El modelo auto regresivo representa una regresión del proceso sobre sí mismo, teniendo en cuenta que aunque el pasado influye en el valor actual, la influencia más significativa se refleja

con los periodos más recientes. Por lo que en procesos AR, el valor actual depende directamente de los últimos P valores sumándole una perturbación aleatoria. (Análisis de series temporales y técnicas de previsión, Carrión. A, 2011)

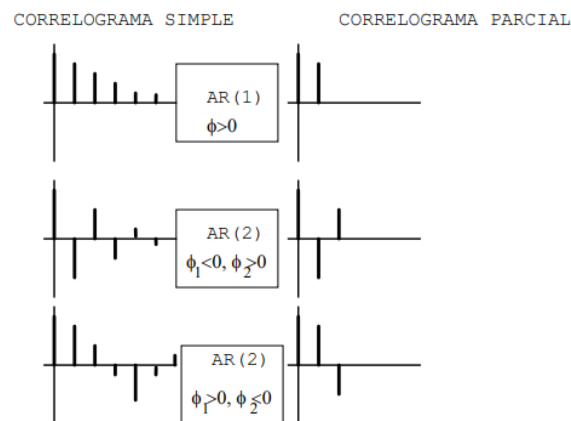
Según Carrión los modelos autorregresivos cuentan con las siguientes propiedades:

4.6.1.1 Correlograma simple AR. El Correlograma de un proceso auto regresivo se compone de coeficientes decrecientes no nulos que representan la correlación basados en una mezcla exponencial y sinusoidal amortiguada.

4.6.1.2 Correlograma parcial AR. El Correlograma parcial de los AR, tiene no nulos los p primeros coeficientes y se convierten en nulos a partir del punto $k=p+1$. La siguiente figura representa los más frecuentes correlogramas simples y parciales para este tipo de procesos:

Figura 3

Correlogramas simples y parciales más comunes en modelos AR



Nota: La figura representa los dos tipos de correlogramas más frecuentes en procesos autorregresivos. Adaptado de: Carrión. A. (2011). Análisis de series temporales y técnicas de previsión.

4.6.2 Procesos de medias móviles (MA)

Los procesos de medias móviles se fundamentan en cancelar el ruido aleatorio que afecta a la serie al realizar el promedio de los valores, acotando solamente la influencia de los últimos

periodos, debido a que los procesos MA son función de un número de valores anteriores y no de todos. (Carrión. A. p.44)

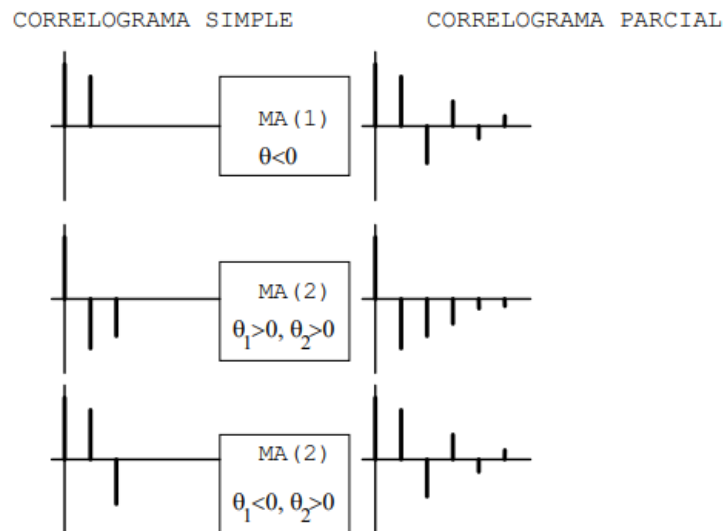
Basados en Carrión, A. los correlogramas de los procesos de MA son:

4.6.2.1 Correlograma simple MA. Los correlogramas simples de este tipo de proceso tiene los primeros valores P no nulos, siendo el resto nulos.

4.6.2.2 Correlograma parcial MA. El Correlograma parcial de medias móviles consta de infinitos valores de correlación no nulos, que siempre decrecen a partir de una mezcla exponencial y sinusoidal. La figura a continuación representa los correlogramas MA más comunes:

Figura 4

Correlogramas simples y parciales frecuentes en MA



Nota: La figura representa los dos tipos de correlogramas más frecuentes en procesos de medias móviles. Adaptado de: Carrión. A. (2011). Análisis de series temporales y técnicas de previsión.

4.6.3 Modelos Auto Regresivos de medias móviles (ARMA)

Existen procesos en el que su forma óptica se basa en la combinación de los dos modelos anteriores (AR y MA), a estos procesos se les denomina auto regresivos de medias móviles o

ARMA. Los modelos ARMA permiten una mayor flexibilidad de los parámetros, teniendo una mezcla de características de los dos modelos que lo componen. (Carrión. A. p.46)

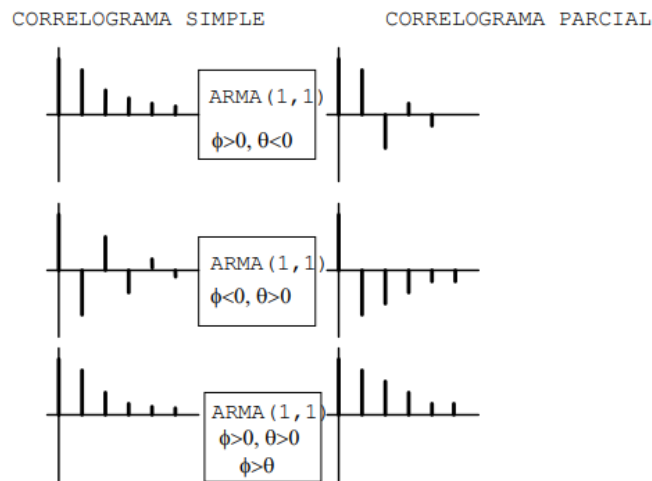
Los dos correlogramas ARMA según Carrión:

4.6.3.1 Correlograma simple ARMA. Los correlogramas simples de este modelo tienen una forma decreciente, mezcla de exponenciales y sinusoidales amortiguadas, a excepción para los valores $q-p+1$, si q es mayor o igual no siguen esta pauta general y presentan cualquier estructura.

4.6.3.2 Correlograma parcial ARMA. El correlograma parcial es similar al simple, solo que en este caso si p es mayor que $q+1$ tiene un comportamiento inicial ajeno a los demás. A continuación se presentan los correlogramas más frecuentes en este proceso:

Figura 5

Correlogramas simple y frecuentes, más comunes en ARMA



Nota: La figura representa los correlogramas más frecuentes en procesos ARMA. Adaptado de: Carrión. A. (2011). Análisis de series temporales y técnicas de previsión

4.7 Norma técnica colombiana NTC 5365

Desde el año 2012 fue radicada la NTC 5365, que tiene como objetivo establecer la metodología para determinar la emisiones y concentraciones de contaminantes en los gases de

escape en motocicletas, motociclos, mototriciclos, motocarros y cuatrimotos, que tienen motor de gas/gasolina (cuatro tiempos) o gasolina-aceite (dos tiempos).

Esta norma acoge las emisiones de gases de escape a los gases de hidrocarburos HC, monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂ y oxígeno O₂, productos de la combustión y emitidos a la atmósfera a través del tubo de escape. En conjunto con la resolución 210 de 2008 los límites máximos de emisiones permisibles para motocicletas de monóxido de carbono son de 4,5 %, de gases de hidrocarburos de hasta 1.600 ppm y un valor de exceso de oxígeno de 6%, esto para motocicletas de cuatro tiempos.

5. Metodología

5.1 Motocicletas más usadas en el área metropolitana de Bucaramanga

Se realizó una búsqueda profunda sobre la información de registro automotor, basados en el Registro Único Nacional de Tránsito - RUNT y con la asistencia personal a los tránsitos de las cuatro ciudades que conforman el área metropolitana de Bucaramanga, obteniendo datos exactos de las cifras de motos matriculadas mensualmente durante los tres últimos años (2019, 2020 y 2021) y de los modelos de motocicletas más registrados en los años mencionados.

Los datos obtenidos de Bucaramanga, Piedecuesta, Girón y Floridablanca se tabularon de forma individual, dándole paso a la recopilación de información general unificada en el área metropolitana como tal, con esto se definió el top 5 de modelos de motos más registradas y por tanto el modelo de moto que tiene mayor cantidad de unidades en la ciudad, la cual fue foco de estudio.

5.2 Realización de prueba de emisiones

5.2.1 *Búsqueda de motocicleta*

Por medio de canales de información y redes sociales, se difundió y realizó la búsqueda de las motocicletas del modelo ya específico. En total se realizaron 30 (treinta) pruebas de emisiones, a 30 (treinta) motos distintas de la misma referencia en la ciudad de Bucaramanga.

5.2.2 *Prueba de emisión a la población muestra (NTC 5365).*

Teniendo las 30 motocicletas de muestra, se le realizó a cada una de las motos la prueba de emisiones bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 5365: Calidad del Aire. Evaluación de gases de escape de motocicletas, motociclos, mototricilos, motocarros y cuatrimotos, accionados tanto con gas o gasolina (motor de cuatro tiempos). Mediante el método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación. Teniendo en cuenta la inspección y preparación previa del vehículo y del equipo, las condiciones ambientales y la metodología para aplicación de la prueba, especificados en la norma anexada.

5.2.3 *Tabulación de información de emisiones*

La información recopilada de las pruebas y motocicletas se tabuló, registrando también datos sobre kilometraje, modelo y emisiones de: hexano, dióxido, monóxido; de cada una de las motos testeadas.

5.3 Graficas de predicciones de emisiones hasta el año 2031

5.3.1 *Ecuación de motos registradas por cada año, para encontrar el registro de motos desde el año 2010 hasta 2021.*

Con el fin de encontrar el registro histórico desde el año 2010 hasta el 2021 (actual), se tuvieron en cuenta los datos de motocicletas del apartado 5.1 de los años 2019 y 2021, ya que en el año 2020 se generó un cambio en la tendencia debido a la pandemia ocasionada por el Corona-

virus. En primer lugar, se encontró la variación entre los dos años mencionados, haciendo uso de la ecuación:

$$V = \frac{A_2 - A_1}{A_1} (100)$$

Siendo:

V = Variación entre los dos años

A₁ = Registro de motos año 2019

A₂ = Registro de motos año 2021

Con la variación se encontraron los valores de registro de motos de los años 2017, 2015, y 2013; Estas cinco estimaciones (incluyendo 2019 y 2021) fueron utilizadas para encontrar la ecuación de registro anual de motocicletas de tipo exponencial mediante Excel, que permitió encontrar el registro de los años restantes desde el 2010 hasta el 2021, así mismo concretar el valor corregido del año 2020.

5.3.2 Promedio global de emisiones anual.

Se realizó el cálculo del promedio anual global para cada uno de los componentes de las emisiones. Teniendo las emisiones de dióxido y monóxido en porcentaje se hizo la conversión de unidades para tener estos valores en partes por millón (ppm), considerando la siguiente regla de conversión:

$$1\% \rightarrow 10000 \text{ ppm}$$

Este cambio de unidades no es aplicado para el Hexano, ya que al realizar el análisis de emisiones el equipo ya da este dato en ppm. Se propuso un promedio de uso de las motocicletas de 10.000 kilómetros por año y con esta regla cambiar el kilometraje de cada moto a tiempo de

uso de esta; al tener ya el tiempo de utilización de cada moto, se saca para cada una de las muestras la cantidad de emisiones por año:

$$Emisión_{unitaria} = \frac{Emisión}{Tiempo\ de\ uso}$$

Con las 30 Emisiones unitarias de las motocicletas, se saca el promedio global de emisiones anual para cada uno de los contaminantes:

$$Emisión_{promedioanual} = \frac{\sum Emisión_{unitaria}}{N^{\circ}\ de\ muestras}$$

5.3.3 Emisiones Acumuladas

Haciendo uso de la información de registro del apartado 5.3.1, se calculó el acumulado de motos de cada año desde el 2010 hasta el 2021, y en conjunto con la *Emisión_{promedioanual}* se hallaron las emisiones para cada uno de estos años.

$$Emisión_{del\ año} = (Emisión_{promedioanual}) * (Registro_{acumulado\ del\ año})$$

5.3.4 Predicción de emisiones en los próximos diez años con Series Temporales

Se realizó la predicción de las emisiones que serán generadas en los próximos 10 años (hasta el año 2031) con los datos de *Emisión_{del año}* desde el 2010 hasta el 2021 con el uso de la extensión de Excel *XREALSTATS*.

Con las tablas de emisiones acumuladas de los últimos 11 años, se dio paso a la instalación y activación de Xrealstats; se seleccionaron los datos de emisiones, y en la extensión en el apartado de Series Promedios Móviles, se especificó que la cantidad de datos a predecir eran diez (próximos diez años).

En ese momento se detallaron los valores de *p* y de *q*, teniendo en cuenta que estas cifras pueden ser: 0, 1 y 2; Se ejecutaron diferentes combinaciones de los dos parámetros y se realizó la

predicción, esto, con el fin de obtener los diferentes valores de **AIC**. El indicador **AIC** fue el criterio decisorio para elegir la mejor predicción, ya que la combinación de **p** y **q** que genere el menor **AIC** es el pronóstico más adecuado.

Se realizó la comprobación de los datos posibles más ajustados al sistema creando mediante la extensión el Correlograma y el Correlograma Parcial, si se tiene que en el gráfico ninguno de los valores supera el domo se evidencia la idoneidad de los datos. Ya con esto, obtener la predicción de los datos comprobados de emisiones hasta el año 2031. Proceso realizado para los 3 contaminantes emitidos, cabe decir que en Anexos se encuentra información gráfica de la realización y uso del programa.

5.3.5 *Corrección de datos con intervalos de confianza.*

Con los 21 datos (del 2010 al 2031) ya presididos, se realiza la gráfica años versus emisiones por año. Sin embargo, se efectuó un Intervalo de confianza, con el fin de tener un rango de valores para cada año y generar seguridad en el estudio; en primer lugar se propuso dos intervalos de confianza:

$$\text{Porcentaje}_{\text{confianza } 1} = \sigma = 68\%$$

$$\text{Porcentaje}_{\text{confianza } 2} = 2\sigma = 95\%$$

Con estos datos se halló el Intervalo de Confianza mediante Excel, haciendo uso también de la desviación estándar, el número de muestras y el nivel de confianza:

$$\text{Nivel}_{\text{de confianza}} = 100 - \text{Porcentaje}_{\text{confianza}}$$

Con los dos intervalos de confianza para los dos porcentajes propuestos, se realizó el cálculo de los datos con $\pm\sigma$ y $\pm 2\sigma$ en las emisiones para cada uno de los años, añadiendo así

mismo un porcentaje de error de 5% en cada año a medida que avanza el tiempo y, se graficaron los datos encontrados.

5.4 Proponer sistema de implementación.

Basados en referentes internacionales de los planes de implementación en países desarrollados y el plan nacional colombiano “Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica”, se propuso para el estudio una implementación anual del 2% de los vehículos registrados sean totalmente eléctricos y sostenibles, comenzando dicha ejecución desde el año 2022. Cifra que se plantea teniendo en cuenta la falta de infraestructura de los espacios para el suministro de recarga y los datos de países desarrollados cuando comenzaron esta transición energética.

5.5 Graficas de emisiones llevando a cabo el Plan de Implementación hasta el año 2031.

5.5.1 Predicción del registro de motocicletas en los años hasta 2031

A los datos del registro de motos acumuladas de los años 2010-2021, se le realizó la predicción del aumento en el registro hasta el 2031 de la misma forma como fue hecho en el apartado 5.3.4 *Predicción de emisiones en los próximos diez años con Series Temporales*, con el mismo procedimiento y las mismas comprobaciones, solo que con el fin de obtener la predicción del registro acumulado de motocicletas en el área metropolitana de Bucaramanga hasta el año mencionado.

5.5.2 Reducción del registro acumulado del 2% anual desde 2021

Ya con la implementación del 2% anual de vehículos eléctricos definida y los datos de registro acumulado hasta el 2031, se aplicó la reducción anual de motocicletas que usan gasolina como fue especificada, con esto, obtener una disminución de vehículos que generen emisiones de Hexano, Dióxido y Monóxido.

5.5.3 Gráfica de emisiones reducidas.

Basados en la Emisión Promedio Anual y el registro del apartado anterior, se calcularon las nuevas cantidades de emisiones acumuladas que se producirían por año si fuese implementado el plan de vehículos eléctricos, con el propósito de generar las gráficas de años versus emisiones acumuladas con el plan de implementación aplicado, para cada una de ellas (Hexano, CO₂ y CO).

5.5.4 Gráficos de confianza: Gráfico de emisiones con plan implementado.

Se realizó la misma metodología del ítem 5.3.5 *Corrección de datos con Intervalos de Confianza* a los gráficos encontrados en el apartado anterior, con el fin de tener un conjunto de datos para cada año y generar más seguridad en el estudio.

5.6 comparativa entre las dos graficas de años vs emisiones

Finalmente, se realizó una comparativa de las dos gráficas de emisiones, una con registro no modificado y la otra con las motocicleta eléctricas implementadas, con esto, cualificar gráfica y numéricamente el cambio que existiría en las emisiones de hexano, dióxido y monóxido, si se ejecutara un plan de movilidad sostenible en la ciudad.

6. Resultados y discusión

6.1 Registro de motos por modelos.

La recopilación de información del registro de motocicletas se tabuló de forma manual y de manera independiente, con el fin de generar un análisis individual en cada ciudad y global en el área metropolitana.

6.1.1 Registro en Bucaramanga

En la Tabla 1 se reportó el registro de modelos de motocicletas que se generó en la ciudad de Bucaramanga durante los años 2019, 2020 y 2021; generándose un aumento en la mayoría de los casos a medida que avanzan los tres años.

Tabla 1

Registro Automotor en Bucaramanga.

Registro de motos por modelo en Bucaramanga			
Modelo	2019	2020	2021
SUZIKI GN 125	87	403	622
SUZIKI DR150	48	262	247
SUZIKI GIXXER	148	262	334
YAMAHA FZN150D-6	86	120	123
SUZIKI VIVA STYLE	87	118	222
YAMAHA XTZ125	80	117	165
HONDA CB125F	126	93	119
SUZIKI BEST	89	91	33
AKT AK125	47	85	74
SUZIKI GSX125	58	76	79

Nota: Esta tabla muestra el registro de motocicletas por modelo en los años 2019, 2020 y 2021 en Bucaramanga.

6.1.2 Registro en Floridablanca

La Tabla 2 representó las motos registradas en la ciudad de Floridablanca, el mayor modelo registrado en esta ciudad tuvo un cambio bastante considerable en el año 2021, año en el cual bajó su registro con una tendencia a cero.

Tabla 2

Registro Automotor en Floridablanca.

Registro de motos por modelo en Floridablanca			
Modelo	2019	2020	2021
HONDA XR150L	365	318	7

HONDA CB125F	241	177	119
BAJAJ BOXER CT	227	164	246
BAJAJ BOXER S	89	132	73
SUXUKI GIXXER	38	92	103
BAJAJ DISCOVERED 125	99	76	63
BAJAJ PULSAR 160	72	74	27
HONDA CB 160F	88	65	37
VICTORY ONE	87	59	88
YAMAHA XTZ250	13	55	55

Nota: Esta tabla muestra el registro de motocicletas por modelo en los años 2019, 2020 y 20 en Floridablanca.

6.1.3 Registro en Girón

Tabla 3

Registro Automotor en Girón.

Registro de motos por modelo en Girón			
Modelo	2019	2020	2021
BAJAJ BOXER CT	2013	1018	1912
YAMAHA FZN150D-6	1120	943	522
HONDA CB125F	845	848	615
YAMAHA YW125XFI	886	590	464
HONDA XR150L	793	581	136
YAMAHA XTZ125	688	580	504
AKT AK125	901	575	62
BAJAJ BOXER S	291	477	354
YAMAHA T115FI	532	467	377
VICTORY ONE	627	456	628

Nota: Esta tabla muestra el registro de motocicletas por modelo en los años 2019, 2020 y 20 en Girón.

La Tabla 3 pudo evidenciar de una forma más clara el mayor peso de registro de motocicletas en el área metropolitana de Bucaramanga, siendo Girón la ciudad de las 4 que conforman el área de Bucaramanga que más registros de vehículos genera anualmente a comparación de las demás.

6.1.4 Registro en Piedecuesta

Tabla 4

Registro Automotor en Piedecuesta.

Registro de motos por modelo en Piedecuesta			
Modelo	2019	2020	2021
SUZUKI GIXXER	103	84	73
HONDA CB125F	144	81	33
YAMAHA FZN150D-6	137	80	31
HONDA CB160F	75	52	6
BAJAJ BOXER CT	113	48	5
HONDA XR150L	56	33	1
BAJAJ DISCOVER 125	43	29	20
BAJAJ PULSAR 160	30	29	-
YAMAHA SZ15RR	54	25	4
SUZUKI BEST	40	23	1

Nota: Esta tabla muestra el registro de motocicletas por modelo en los años 2019, 2020 y 20 en Piedecuesta.

A partir de lo observado en la Tabla 4 sobre el registro de motocicletas en Piedecuesta, se pudo concluir que de las cuatro ciudades estudiadas, Piedecuesta representa el menor aporte al registro en el área metropolitana y que en los modelos existen muchas variaciones de disminución del registro en esta ciudad.

6.1.5 Registro en el Área metropolitana de Bucaramanga

Al reunir la información anterior de las ciudades pertenecientes de Bucaramanga, se pudo generar una tendencia en la Tabla 5 de los modelos de motos más matriculados en el área metropolitana. Del mismo modo, se hizo visible lo que era de esperarse: una disminución de registro en el año 2020 debido a la pandemia ocasionada por el coronavirus.

Tabla 5

Registro Automotor en el Área metropolitana Bucaramanga.

Registro de motos por modelo en el área metropolitana de Bucaramanga				
Modelo	2019	2020	2021	Total
BAJAJ BOXER CT	2358	1238	2111	5707
HONDA CB125F	1356	1199	886	3441
YAMAHA FZN150D-6	1396	1186	689	3271
HONDA XR150L	1245	974	217	2436
SUZUKI GIXXER	848	850	1029	2727
YAMAHA XTZ125	826	741	728	2295
SUZUKI GN 125	528	734	1081	2343
AKT AK125	992	691	62	1745
YAMAHA TW125XFI	1032	686	616	2334
BAJAJ BOXER S	391	619	435	1445
AKT AK125 NKD	0	183	1393	1576

Nota: Esta tabla muestra el registro de motocicletas por modelo en los años 2019, 2020 y 20 en el área metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 6

Top 5 de modelos de motocicletas más registradas en el Área metropolitana de Bucaramanga.

Top 5 de modelos de motocicletas más registradas en el área metropolitana de Bucaramanga en los años 2019, 2020 y 2021		
1	BAJAJ BOXER CT	5707
2	HONDA CB125F	3441
3	YAMAHA FZN150D-6	3271
4	SUZUKI GIXXER	2727
5	HONDA XR150L	2436

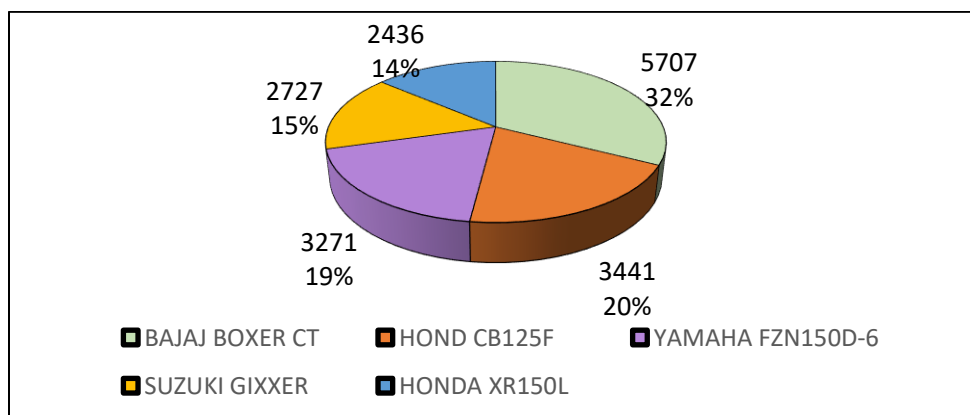
Nota: Esta tabla muestra el top 5 del modelo las motocicletas más registradas en los años 2019, 2020 y 20 en el área metropolitana Bucaramanga.

A partir de la Tabla 5 se generó el listado de las cinco motocicletas más populares en la ciudad observado en la Tabla 6, con esto concluir que la moto BAJAJ BOXER CT es la moto más

registrada con 5707 unidades matriculadas en los últimos 3 años, representando un 32% de los registros del Top 5 de las motos evidenciado en la Figura 6 y modelo al cual fue la población de estudio.

Figura 6

Registro de las 5 motocicletas más registradas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.



Nota: El gráfico representa el top 5 del modelo las motocicletas más registradas en los años 2019, 2020 y 20 en el área metropolitana Bucaramanga.

6.2 Emisiones de las treinta motos estudiadas

Con el modelo de motocicleta de muestra definido y siguiendo la metodología planteada, en la Tabla 7 se reportó la información de las 30 pruebas de emisiones que fueron realizadas a 30 ejemplares diferentes de moto modelo BAJAJ BOXER CT.

Tabla 7

Pruebas de emisiones: Kilometraje, modelo, Hexano, Monóxido & Dióxido.

N° prueba	Kilometraje	Modelo	Hexano [ppm]	Monóxido [%]	Dióxido [%]
1	9998	2020	560	2,44	12,33
2	11700	2009	750	1,86	12,26
3	12563	2010	1422	2,99	5,82
4	12781	2008	1251	2,29	8,89
5	18002	2014	1246	2,14	12,16
6	18191	2020	757	1,35	12,02
7	18577	2007	203	2,55	7,57

8	18577	2006	696	3,42	7,99
9	28206	2018	1102	1,39	5,19
10	30426	2019	1053	2,16	11,91
11	33241	2019	669	2,55	12,17
12	35421	2020	1455	3,75	10
13	36422	2012	832	2,66	11,86
14	39796	2019	1795	1,45	9,67
15	42079	2019	1339	2,54	6,15
16	45241	2016	1284	2,41	10,26
17	45585	2013	335	2,54	10,23
18	47447	2016	619	2,65	10,96
19	53253	2020	1218	2,17	12,62
20	55883	2020	978	1,32	12,48
21	56015	2017	1767	2,17	8,75
22	56821	2019	592	2,73	11,9
23	78039	2019	1331	2,15	12,47
24	80729	2019	1592	2,57	8,42
25	85124	2012	954	2,62	12,4
26	88226	2020	936	2,97	11,55
27	89258	2013	1776	2,39	9,22
28	92872	2014	1210	2,86	11,84
29	99258	2007	944	2,79	8,99
30	804324	2012	1148	2,71	10,73

Nota: Esta tabla muestra los datos de numero de prueba, kilometraje, modelo, hexano, monóxido y dióxido, para las 30 pruebas realizadas a la moto Bajaj Boxer CT.

En la Tabla 7 se registró también el kilometraje de cada vehículo, el año del modelo de la referencia y los tres contaminantes de análisis proporcionados por el analizador de gases.

6.3 Gráfica de predicción de emisiones

Para esta etapa se empleó como instrumento principal la herramienta de trabajo Excel y extensión “XRealStats” con el fin de desarrollar las predicciones mediante series temporales.

6.3.1 Ecuación de registro de motocicletas y registro del 2010 a 2021

En este apartado para encontrar la ecuación de registro de motos, en primer lugar se encontró la variación entre los dos años 2019 y 2021, ya que el año 2020 pierde su tendencia por influencia de la pandemia.

$$V = \frac{A_2 - A_1}{A_1} (100) = \frac{29616 - 26584}{26584} (100) = 11,40535661\% \text{ c}/2 \text{ años}$$

Con la variación se encontró en la Tabla 8 los registros de motos de los años impares hasta el 2013, evidenciando la tendencia de aumento de registro a través de los años.

Tabla 8

Registro de motos del año 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021

Registro	
Año	Motos
2021	29616
2019	26584
2017	23862
2015	21419
2013	19226

Nota: Esta tabla muestra el registro de motos para los años 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021, encontrados con la variación de motos en dos años.

Con los registros de la Tabla 8 y haciendo uso de la herramienta Excel, se encontró la ecuación exponencial de registros automotor en los años:

$$R = 1,1731951386x10^{-43}(e^{0,0540066802*A})$$

Siendo

$R =$ Registro de motocicletas en el año

$A =$ año

La Tabla 9 reportó para el periodo de los años 2010 a 2021 los registros de motocicletas para cada uno de ellos, haciendo uso de la ecuación encontrada anteriormente ($R =$ *Registro de motocicletas en el año*).

Tabla 9

Registro de motocicletas del 2010 al 2021, con corrección del año 2020.

Registro de motos desde año 2010	
AÑO	Registro
2010	16350
2011	17258
2012	18215
2013	19226
2014	20293
2015	21419
2016	22607
2017	23862
2018	25186
2019	26584
2020	28059
2021	29616

Nota: Esta tabla muestra el registro de motos del año 2010 al 2021, con la corrección del dato de año 2020.

6.3.2 Promedio global de emisiones

En la Tabla 10 se evidenció el cambio para cada prueba de emisión de kilometraje a tiempo de uso de las motocicletas en años, y con esto generar para cada una de las pruebas la emisión promedio de cada moto de los tres gases contaminantes.

Tabla 10

Promedio de emisiones anual para cada motocicleta.

N° de prueba	Años de uso	Emisión promedio por año de cada moto [ppm]		
		Hexano	Monóxido	Dióxido

1	0,9998	560,1120224	24404,88098	73314,66293
2	1,17	641,025641	15897,4359	79145,29915
3	1,2563	893,0987821	23800,04776	46326,51437
4	1,2781	978,7966513	17917,22087	69556,37274
5	1,8002	692,1453172	11887,56805	50883,2352
6	1,8191	416,1398494	7421,252268	49584,9596
7	1,8577	109,2749098	13726,65124	40749,31367
8	2,0019	407,1132424	12687,94645	30820,72032
9	2,8206	390,6970148	4928,029497	18400,34035
10	3,0426	346,0855847	7099,191481	39144,15303
11	3,3241	201,2574832	7671,249361	36611,41362
12	3,5421	410,7732701	7763,755964	28231,83987
13	3,6422	228,4333645	7303,278238	32562,73681
14	3,9796	387,4761283	3643,58227	24298,92452
15	4,2079	318,2109841	6036,26512	14615,36633
16	4,5241	283,8133551	5327,02637	22678,5438
17	4,5585	73,48908632	5572,008336	22441,59263
18	4,7447	130,4613569	5585,179253	23099,45834
19	5,3253	228,7195088	4074,8878	23698,19541
20	5,5883	175,0084999	2362,077913	22332,37299
21	5,6015	315,4512184	3873,962332	15620,81585
22	5,6821	104,1868323	4804,561694	20942,96123
23	7,8039	170,5557478	2755,03274	15979,18989
24	8,0729	197,2029878	3183,490443	10429,95702
25	8,5124	112,0718011	3077,862882	14566,98463
26	8,8226	106,0911749	3366,354589	13091,37896
27	8,9258	198,9737615	2677,631137	10329,60631
28	9,2872	130,2868464	3079,507279	12748,72943
29	9,5412	176,4977152	3699,744267	11707,12279
30	9,9258	175,401479	2810,856556	13087,10633

Nota: Esta tabla muestra el promedio anual de hexano, monóxido y dióxido para cada una de las 30 motos estudiadas.

Teniendo en cuenta los treinta promedios de cada emisión se calculó el promedio global de emisiones del Hexano, Monóxido y dióxido.

$$Emisión_{P.Global.Hexano} = 318,6283872[ppm]$$

$$Emisión_{P.Global.Monóxido} = 7614,617968[ppm]$$

$$Emisión_{P.Global.Dióxido} = 29566,66227[ppm]$$

A partir de estos tres valores calculados, se denota que las emisiones promedio de Dióxido de carbono generadas son mayores en el medio ambiente en comparación del Hexano y el Monóxido.

6.3.3 Emisiones acumuladas

Encontramos el registro y las emisiones acumuladas.

Tabla 11

Emisiones acumuladas por año hasta 2021.

Año	Registro Acumulado	Emisiones acumuladas por año [ppm]		
		Hexano	Monóxido	Dióxido
2010	16350	5209574,13	124499003,77	483414928,12
2011	33608	10708462,84	255912080,66	993676385,58
2012	51823	16512278,91	394612346,94	1532233138,83
2013	71049	22638228,28	541010991,99	2100681787,63
2014	91342	29104154,15	695534434,40	2700678065,08
2015	112761	35928855,57	858631936,65	3333966404,24
2016	135368	43132087,52	1030775605,05	4002379938,19
2017	159230	50735198,10	1212475618,99	4707899633,28
2018	184416	58760172,66	1404257387,13	5452565589,21
2019	211000	67230589,70	1606684391,18	6238565739,00
2020	239059	76170983,62	1820342956,74	7068176715,64
2021	268675	85607481,94	2045857482,47	7943822985,43

Nota: Esta tabla muestra el año, el registro acumulado de motos y las emisiones acumuladas por año en partes por millón, del año 2010 al 2021.

En la Tabla 11 se reportan los valores de emisiones acumuladas calculadas desde el año 2010 hasta el año 2021, y haciendo uso de la emisión promedio global de cada contaminante se realizó el cálculo de la dispersión acumulada en cada año de los tres gases emitidos.

6.3.4 Aplicación de series temporales en predicción de emisiones

Siguiendo la metodología planteada previamente y llevada a cabo, se utilizó la extensión de Excel “XRealStas” para realizar las predicciones mediante series temporales de las emisiones acumuladas a través de los años para cada emisión. Individualmente a cada contaminante se le realizó el estudio de 3 alternativas de emisiones con el fin de generar la tendencia más cercana a la realidad.

6.3.4.1 Análisis de series temporales de emisiones Hexano. En la Tabla 12 se representaron las tres combinaciones de valores de p y q, obteniendo también los valores de AIC, factor que permitió elegir la mejor predicción. Para el caso concreto del Hexano se evidenció que la mejor opción es el AIC menor 89,749968 con un p=1 y un q=2.

Tabla 12

Combinaciones de p y q para predicción de emisiones de Hexano.

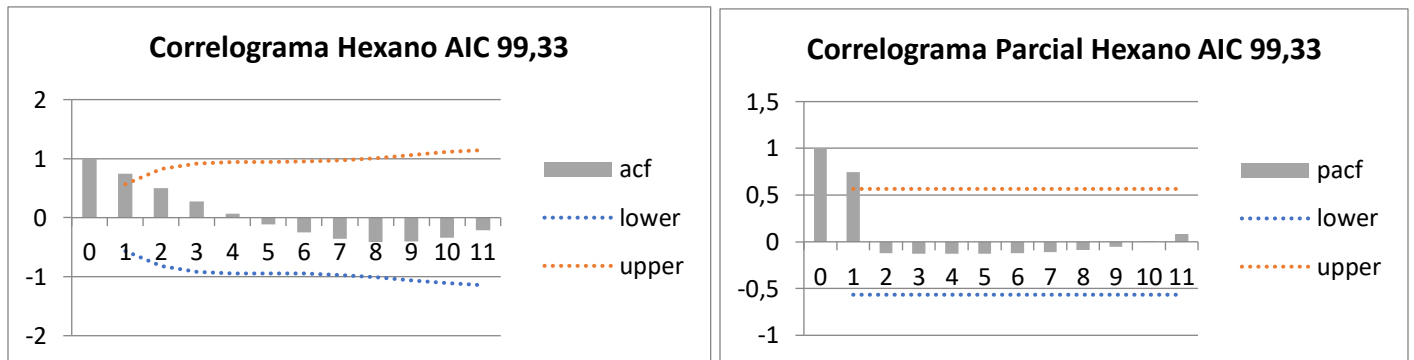
Hexano		
p	q	AIC
1	0	99,3319862
1	2	89,749968
1	1	102,823349

Nota: Esta tabla muestra los valores de p, q y AIC encontrados en estas combinaciones para el hexano.

En la Figura 7 se realizó la comprobación del AIC 89,748868 menor, mediante la representación gráfica del correlograma total y parcial, demostrando que los valores si se encuentran dentro del margen más alto (upper) y el más baja (lower), por lo que esta predicción sí es la adecuada.

Figura 7

Correlograma parcial y total con AIC menor para Hexano.



Nota: Esta figura representa el correlograma simple y parcial para el AIC de 99,33 de hexano.

6.3.4.2 Análisis de series temporales de emisiones Monóxido. Del mismo modo que para el Hexano, la Tabla 13 realizó la representación de las tres combinaciones de p y q que permitieron constatar que el AIC más adecuado es el que tiene el valor de 159,582856 ya que es el menor generado con un p=1 y un q=2.

Tabla 13

Combinaciones de p y q para predicción de emisiones de Monóxido.

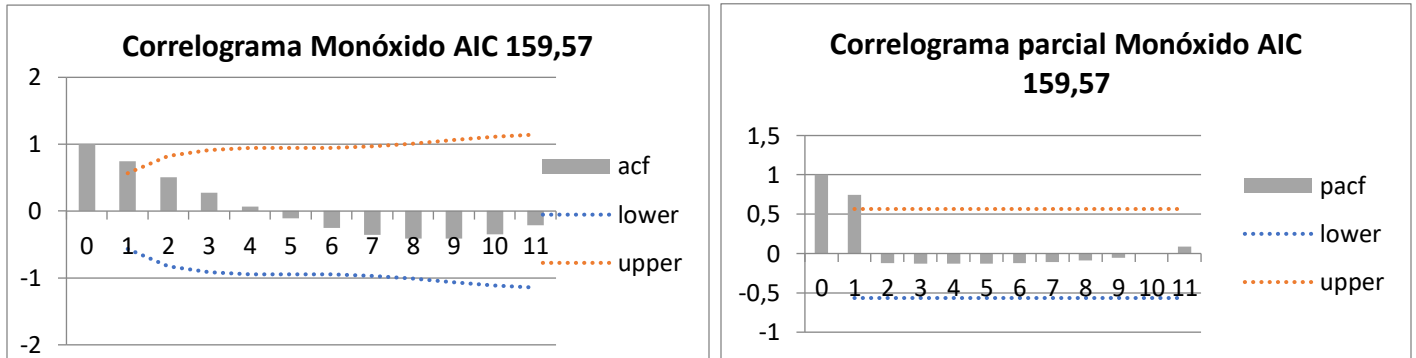
Monóxido		
p	q	AIC
1	0	169,155577
1	2	159,572856
1	1	179,838494

Nota: Esta tabla muestra los valores de p, q y AIC encontrados en estas combinaciones para el monóxido.

Teniendo el AIC de 159,572856, la Figura 8 comprobó de forma gráfica que los valores para este AIC si se encuentran dentro de los dos límites tanto para el correlograma total, como para el correlograma parcial, por lo que se dejó la predicción de esta combinación de p y q.

Figura 8

Correlograma parcial y total con AIC menor para Monóxido.



Nota: Esta figura representa el correlograma simple y parcial para el AIC de 159,57 de monóxido.

6.3.4.3 Análisis de series temporales de emisiones Dióxido. Al igual que los apartados anteriores en la Tabla 14 se presentaron las combinaciones de p y q, con su respectivo valor de AIC generado por series temporales, en busca del AIC menor con un p=2 y un valor de q =1.

Tabla 14

Combinaciones de p y q para predicción de emisiones de Dióxido.

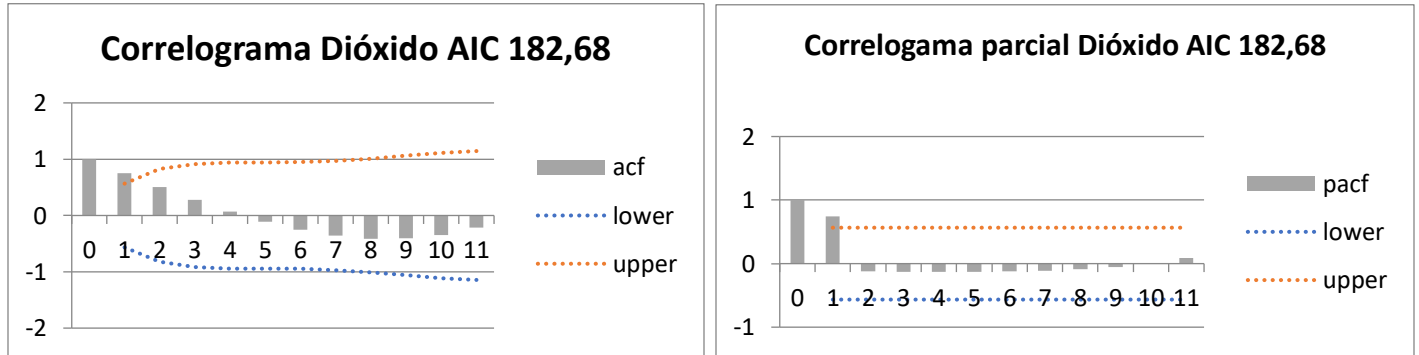
Dióxido		
p	q	AIC
1	0	199,000285
1	2	189,193437
2	1	182,68515

Nota: Esta tabla muestra los valores de p, q y AIC encontrados en estas combinaciones para el dióxido.

La Figura 9 probó con los correlogramas que los valores generados no se salieron del límite superior ni del límite inferior, generando la predicción de emisiones más acertada al estudio de investigación.

Figura 9

Correlograma parcial y total con AIC menor para Dióxido.



Nota: Esta figura representa el correlograma simple y parcial para el AIC de 182,68 de monóxido.

6.3.5 Gráfica de años vs predicciones de emisiones con intervalos de confianza

Ya con la predicción más acertada para cada contaminante, se presentaron los resultados teniendo en cuenta los intervalos de confianza. En la Tabla 15 se tabularon los valores de desviación estándar y de Intervalos de confianza para los dos porcentajes de confianza pactados para el estudio (68% & 95%) los cuales permitieron generar el margen de valores para las predicciones en cada año.

Tabla 15

Desviación estándar e intervalos de confianza para cada contaminante con sigma de 68% y 95%.

Contaminante	Porcentaje confianza		Desviación Estándar
	68%	95%	
Hexano	11651985,6	22964745,4	64176225,6
Monóxido	278460496	548814135	1533690844
Dióxido	1081239259	2131000259	5955195712

Nota: Esta tabla muestra los intervalos de confianza y la desviación estándar del hexano, monóxido y dióxido.

6.3.5.1 Grafica predicciones de emisiones de Hexano. La tabla 16 y la Figura 10 representaron de forma cuantitativa y gráfica los valores de emisiones de Hexano en partes por millón acumulados, que se generarán en los próximos 10 años.

Tabla 16

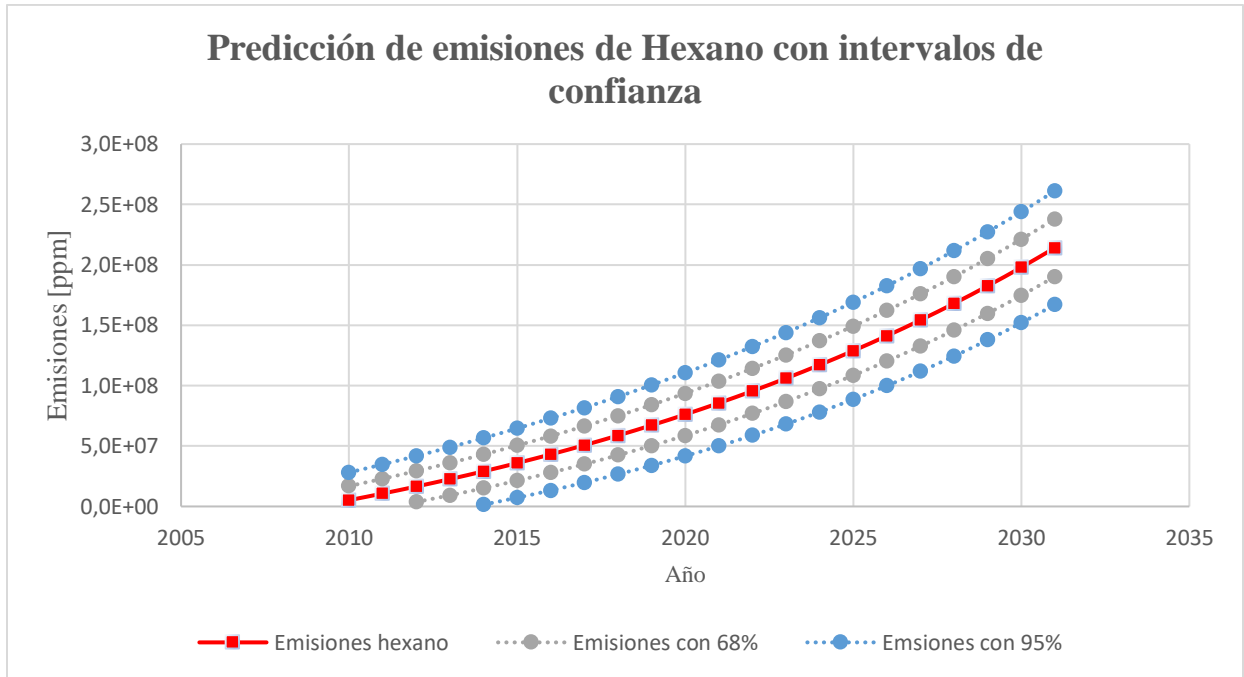
Predicción de emisiones de Hexano hasta el año 2031.

Emisiones Hexano	
Año	Emisiones [ppm]
2010	5209574,131
2011	10708462,84
2012	16512278,91
2013	22638228,28
2014	29104154,15
2015	35928855,57
2016	43132087,52
2017	50735198,1
2018	58760172,66
2019	67230589,7
2020	76170983,62
2021	85607481,94
2022	95567589,11
2023	106080351,4
2024	117176461,1
2025	128888290,8
2026	141250006,6
2027	154297670,5
2028	168069345,6
2029	182605207,1
2030	197947659,3
2031	214141459,9

Nota: Esta tabla muestra la predicción de emisiones de hexano desde el año 2010 hasta el año 2031.

Figura 10

Predicción de emisiones de Hexano con intervalos de confianza.



Nota: Esta figura representa de forma visual las emisiones de hexano de 2010 a 2031, con los dos intervalos de confianza de 68 y 95%.

En la figura 10 se ve gráficamente la tendencia del aumento de emisiones a través de los años y para cada años se tiene un margen de valores ya sea con una confianza del 68% (gris) o una del 95% (azul). Evidenciando también en esta gráfica el porcentaje del 5% que se aumentó en cada uno de los intervalos de confianza al pasar los años.

6.3.5.2 Grafica predicciones de emisiones de Monóxido. La Tabla 17 recompila los valores de las partes por millón de Monóxido acumulado en cada uno de los años, a partir del 2010 hasta el año 2031. Valores que tienen una variación aumentativa en al pasar cada uno de los años.

Tabla 17

Predicción de emisiones de Monóxido hasta el año 2031.

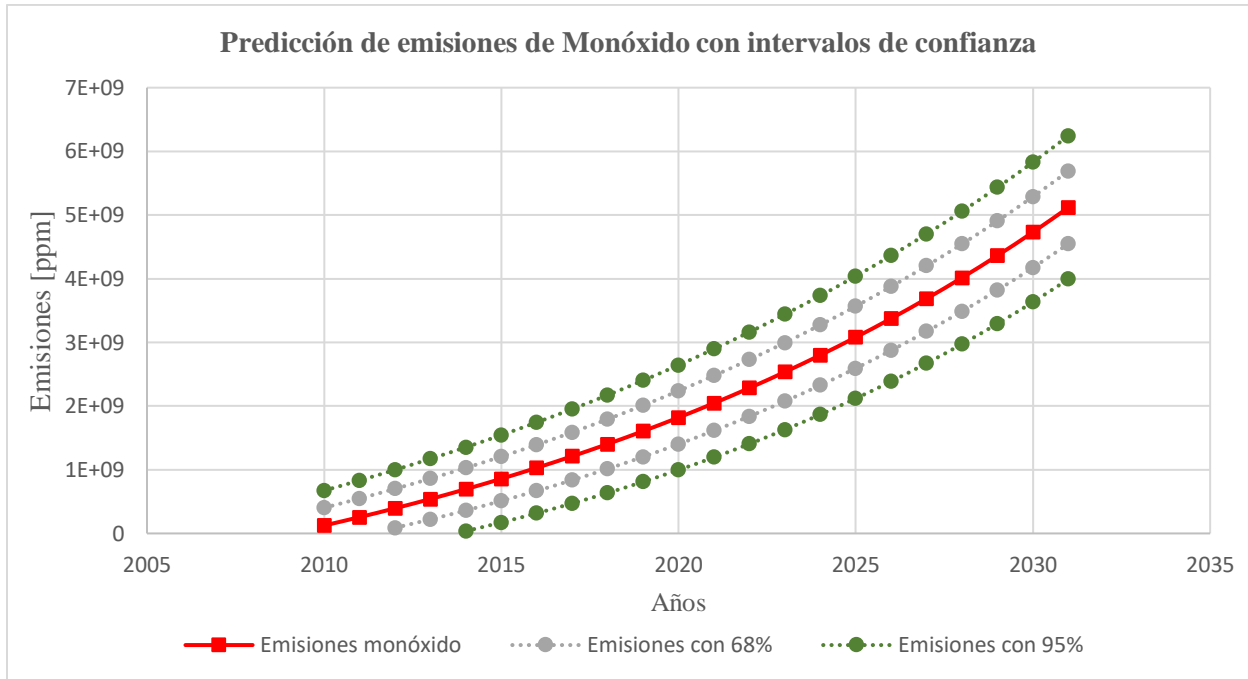
Emisiones Monóxido	
Año	Emisiones [ppm]
2010	124499003,8
2011	255912080,7
2012	394612346,9
2013	541010992
2014	695534434,4
2015	858631936,7
2016	1030775605
2017	1212475619
2018	1404257387
2019	1606684391
2020	1820342957
2021	2045857482
2022	2283885273
2023	2535120480
2024	2800296590
2025	3080187248
2026	3375608958
2027	3687423536
2028	4016540617
2029	4363920310
2030	4730576005
2031	5117577320

Nota: Esta tabla muestra la predicción de emisiones de monóxido desde el año 2010 hasta el año 2031.

La predicción de emisiones de Monóxido con intervalos de confianza y aumento de seguridad del 5% se ve representada en la Figura 11, se puede comparar que las emisiones son mucho más altas en comparación del Hexano. El intervalo de confianza con 68% se encuentra de color gris y de verde la confianza de 95%.

Figura 11

Predicción de emisiones de Monóxido con intervalos de confianza.



Nota: Esta figura representa de forma visual las emisiones de monóxido de 2010 a 2031, con los dos intervalos de confianza de 68 y 95%.

6.3.5.3 Grafica predicciones de emisiones Dióxido. En la Tabla 18 se muestran las predicciones que se tendrán de emisiones acumuladas de Dióxido de carbono a través de los años hasta el año final de estudio. Pudiéndose evidenciar que al comparar los tres gases emitidos, la mayor cantidad de gas en el medio también es y será el dióxido de carbono en contraste del Hexano y el Monóxido.

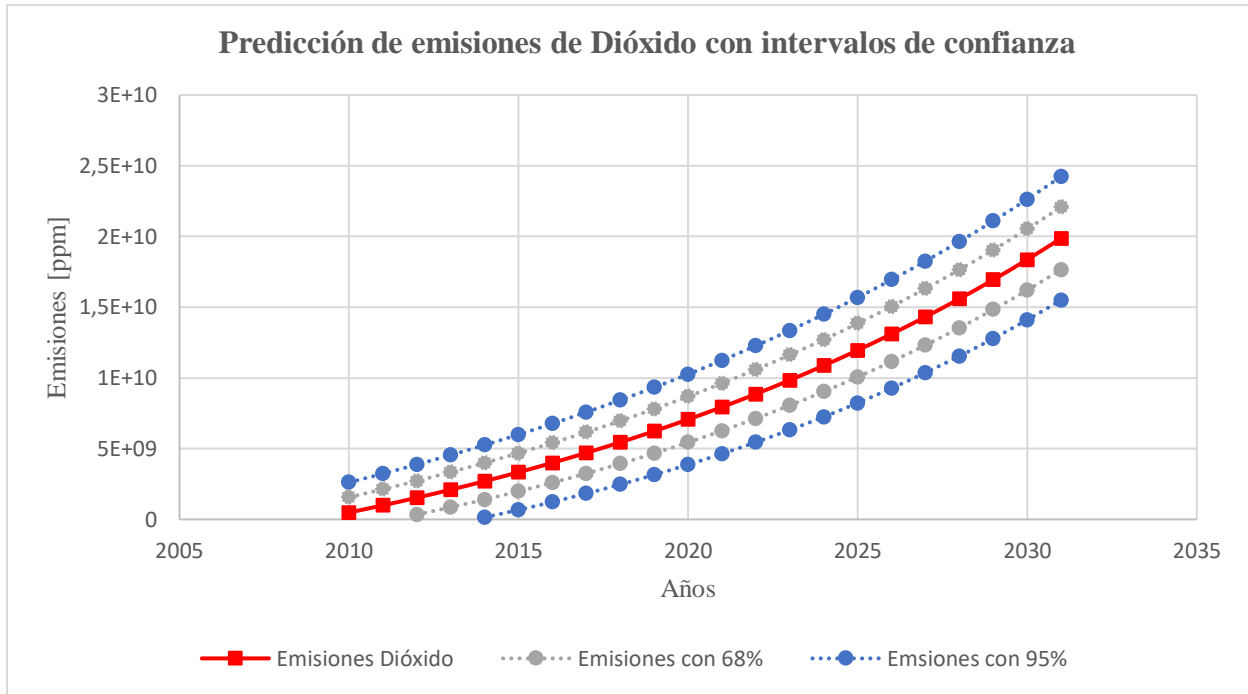
Tabla 18*Predicción de emisiones de Dióxido hasta el año 2031.*

Emisiones Dióxido	
Año	Emisiones [ppm]
2010	483414928,1
2011	993676385,6
2012	1532233139
2013	2100681788
2014	2700678065
2015	3333966404
2016	4002379938
2017	4707899633
2018	5452565589
2019	6238565739
2020	7068176716
2021	7943822985
2022	8868060860
2023	9843586458
2024	10873245885
2025	11960043122
2026	13107148860
2027	14317909734
2028	15595858092
2029	16944722300
2030	18368437616
2031	19871157673

Nota: Esta tabla muestra la predicción de emisiones de dióxido desde el año 2010 hasta el año 2031.

Figura 12

Predicción de emisiones de Dióxido con intervalos de confianza.



Nota: Esta figura representa de forma visual las emisiones de dióxido de 2010 a 2031, con los dos intervalos de confianza de 68 y 95%.

En la Figura 12 se tienen de forma gráfica los valores representados en la Tabla 18, y adicional a estos, se representan los dos intervalos de confianza de 68% (gris) y de 95% (azul).

6.4 Grafica de predicción de emisiones con el plan de implementación aplicado

Con el uso de las mismas herramientas y una metodología de resultados similar a la del Item 6.3, se realizó la predicción del registro automotor para implementar el plan sostenible y con esto generar una comparativa de las emisiones a través de los años con y sin la implementación de vehículos eléctricos.

6.4.1 Aplicación de series temporales en predicción del registro de motocicletas

En la Tabla 19 se registraron las combinaciones de p y q y sus respectivos valores de AIC, evidenciando el AIC menor de $-15,0318506$, que permite generar la mejor predicción para el registro automotor del año 2021 al 2031.

Tabla 19

Combinaciones de p y q para predicción de registro de motos.

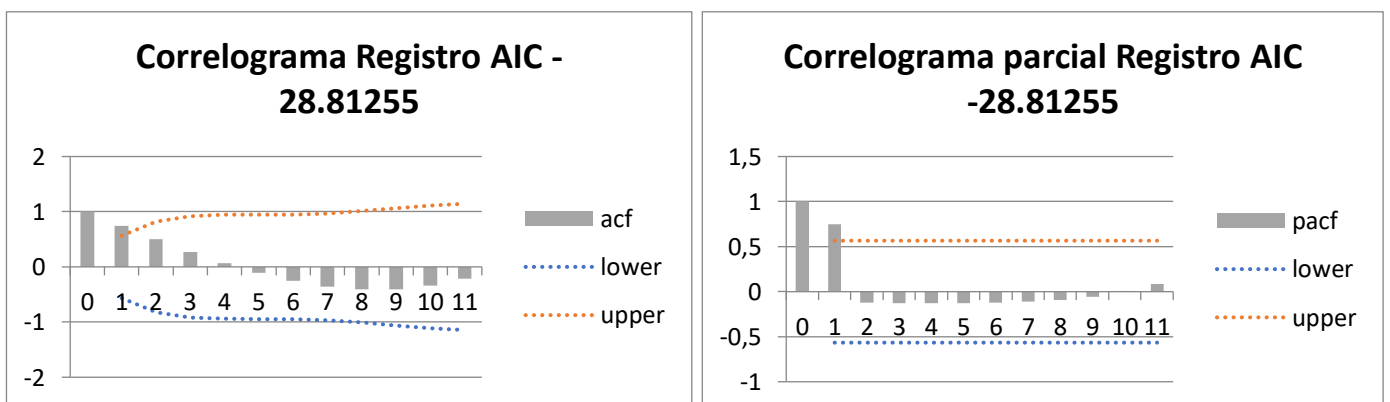
Registro de motos		
p	q	AIC
1	2	-26,592208
1	1	-28,813558
1	0	-15,0318506

Nota: Esta tabla muestra los valores de p , q y AIC encontrados en estas combinaciones para el registro de motos.

La Figura 13 muestra los valores para el AIC menor de la Tabla 19, comprobación mediante el correlograma total y correlograma parcial, donde se observa que ninguna de los valores acf ni $pacf$ sobrepasa los límites sugerir e inferior.

Figura 13

Correlograma parcial y total con AIC menor para el registros automotor.



Nota: Esta figura representa el correlograma simple y parcial para el AIC de -28,81255 del registro de motocicletas.

En la Tabla 20 ya se tiene la predicción comprobada de los valores de registro de motocicletas por año, desde el año 2021 hasta el año 2031. Predicción en la cual se denota una tendencia de aumento de las motos registradas a medida que pasan los años.

Tabla 20

Predicción de registro de motocicletas hasta el año 2031.

Registro de motocicletas	
Año	Registro
2021	29616
2022	31259
2023	32994
2024	34824
2025	36756
2026	38796
2027	40948
2028	43220
2029	45617
2030	48148
2031	50819

Nota: Esta tabla muestra la predicción del registro de motocicletas para cada año, desde el 2021 hasta el 2031.

6.4.2 Implementación del 2% anual en el registro de motos

Con la predicción de registro de motos, en la Tabla 21 se presentaron los valores de registro acumulado para cada año y también se implementó el plan sostenible de motocicletas, teniendo los datos con una reducción del 2% de vehículos en cada año, valores que también fueron especificados.

Tabla 21

Registro acumulado con el plan sostenible del 2% implementado.

Registro de motos acumulado		
AÑO	R. Acumulado	R. Acumulado -2%
2010	16350	16350
2011	33608	33608
2012	51823	51823
2013	71049	71049
2014	91342	91342
2015	112761	112761
2016	135368	135368
2017	159230	159230
2018	184416	184416
2019	211000	211000
2020	239059	239059
2021	268675	268675
2022	299934	299621
2023	332928	331625
2024	367752	364708
2025	404508	398892
2026	443304	434196
2027	484252	470639
2028	527471	508240
2029	573088	547015
2030	621236	586978
2031	672055	628141
		Vehículos eléctricos implementados
		313
		990
		1741
		2573
		3492
		4504
		5619
		6843
		8185
		9656

Nota: Esta tabla muestra el año, el registro de motos acumulados, el registro acumulado con la implementación del 2% y la cantidad de motos nuevas eléctricas vinculadas en cada año.

6.4.3 Grafica de años vs emisiones con el plan sostenible implementado, y con intervalos de confianza

Se realizó la graficación de las emisiones pero con el plan de implementación sostenible aplicado. Para las tres contaminantes se usó un porcentaje de confianza de 68% y 95%, teniendo

en cuenta que el número de muestras es 30 se obtuvo la desviación estándar, todo esto descrito en la Tabla 22.

Tabla 22

Desviación estándar e intervalo de confianza de contaminantes con sigma 68% y 95% con el plan sostenible implementado.

Contaminante	Porcentaje confianza		Desviación Estándar
	68%	95%	
Intervalo de confianza			
Hexano	11034433,67	21747620,43	60774903,91
Monóxido	263702169,2	519727142,8	1452405667
Dióxido	1023924379	2018039115	5639519674

Nota: Esta tabla muestra los intervalos de confianza y la desviación estándar del hexano, monóxido y dióxido con el plan de implementación llevado a cabo.

6.4.3.1 Emisiones acumuladas de Hexano al año 2031 con la implementación eléctrica.

En la Tabla 23 se registró las emisiones acumuladas para cada año desde 2010 a 2031, si a partir del 2022 el 2% de los vehículos que se registren fueran totalmente eléctricos, por lo que no generan emisiones contaminantes.

Tabla 23

Emisiones de Hexano con el plan sostenible implementado hasta 2031.

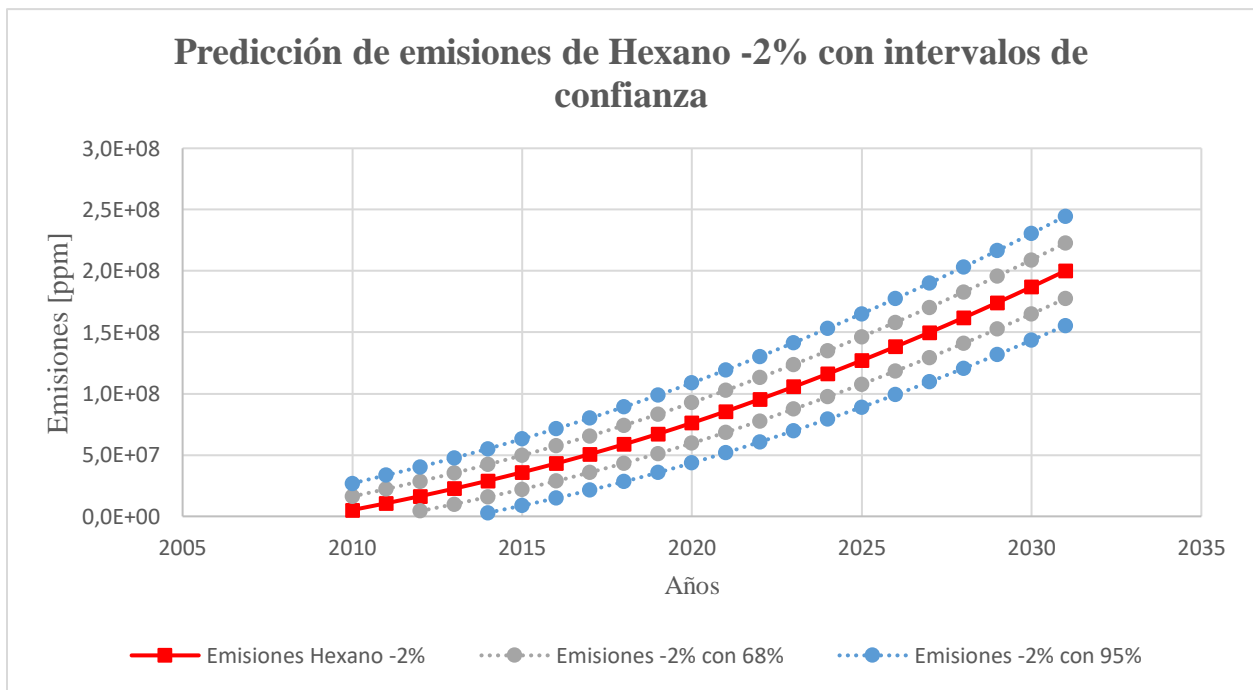
Emisiones Hexano -2%	
Año	Emisiones -2% [ppm]
2010	5209574,131
2011	10708462,84
2012	16512278,91
2013	22638228,28
2014	29104154,15
2015	35928855,57
2016	43132087,52
2017	50735198,1

2018	58760172,66
2019	67230589,7
2020	76170983,62
2021	85607481,94
2022	95467886,65
2023	105665219,2
2024	116206406,1
2025	127098199,1
2026	138347041,7
2027	149959013,9
2028	161939772,3
2029	174294484,4
2030	187027757
2031	200143557,7

Nota: Esta tabla muestra la predicción de emisiones de hexano desde el año 2010 hasta el año 2031 con el plan de movilidad sostenible implementado.

Figura 14

Predicción de emisiones de Hexano con el plan de implementación aplicado.



Nota: Esta figura representa de forma visual las emisiones de hexano de 2010 a 2031, con los dos intervalos de confianza de 68 y 95%, con el plan de implementación de movilidad sostenible llevado a cabo.

La Figura 14 representa de forma gráfica los valores de emisiones si se implementarán vehículos eléctricos a partir del 2022, gráfica donde también están las dos tendencias con intervalos de confianza (68% gris y 95% azul) y el aumento de seguridad del 5% anual

6.4.3.2 Emisiones acumuladas de Monóxido al año 2031 con la implementación eléctrica. La tabla 24 representa las emisiones acumuladas de Monóxido de carbono en cada uno de los años, hasta el año de estudio, teniendo en cuenta que se lleva a cabo un plan de implementación sostenible de motocicletas eléctricas en el área metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 24

Emisiones de Dióxido con el plan sostenible implementado hasta 2031.

Emisiones Monóxido -2%	
Año	Emisiones -2% [ppm]
2010	124499003,8
2011	255912080,7
2012	394612346,9
2013	541010992
2014	695534434,4
2015	858631936,7
2016	1030775605
2017	1212475619
2018	1404257387
2019	1606684391
2020	1820342957
2021	2045857482
2022	2281502572
2023	2525199603
2024	2777114103
2025	3037407430
2026	3306233568

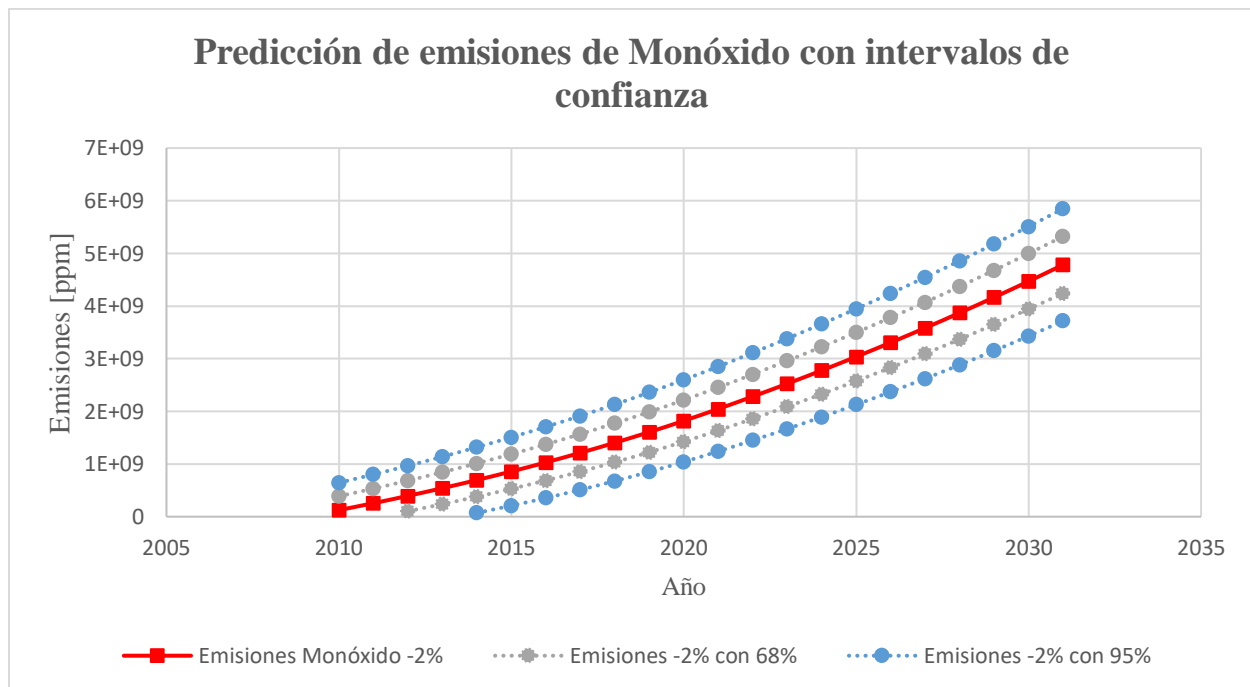
2027	3583737819
2028	3870055367
2029	4165309703
2030	4469610919
2031	4783053838

Nota: Esta tabla muestra la predicción de emisiones de monóxido desde el año 2010 hasta el año 2031 con el plan de movilidad sostenible implementado.

Los valores de la Tabla 23 se ilustran en la Figura 15, donde adicional a estos (línea roja) también se encuentran los intervalos de confianza para cada año, 68% de confiabilidad de color gris y un 95% de color azul, todo esto hasta el año 2031.

Figura 15

Predicción de emisiones de Monóxido con el plan de implementación aplicado.



Nota: Esta figura representa de forma visual las emisiones de monóxido de 2010 a 2031, con los dos intervalos de confianza de 68 y 95%, con el plan de implementación de movilidad sostenible llevado a cabo.

6.4.3.3 Emisiones acumuladas de Dióxido al año 2031 con la implementación eléctrica.

En la Tabla 25 se registraron los gases emitidos acumulados en partes por millón de Dióxido de carbono, teniendo en cuenta que se realizará una implementación del 2% sobre los vehículos registrados anualmente a partir del año 2022 y hasta en 10 años.

Tabla 25

Emisiones de Dióxido con el plan sostenible implementado hasta 2031.

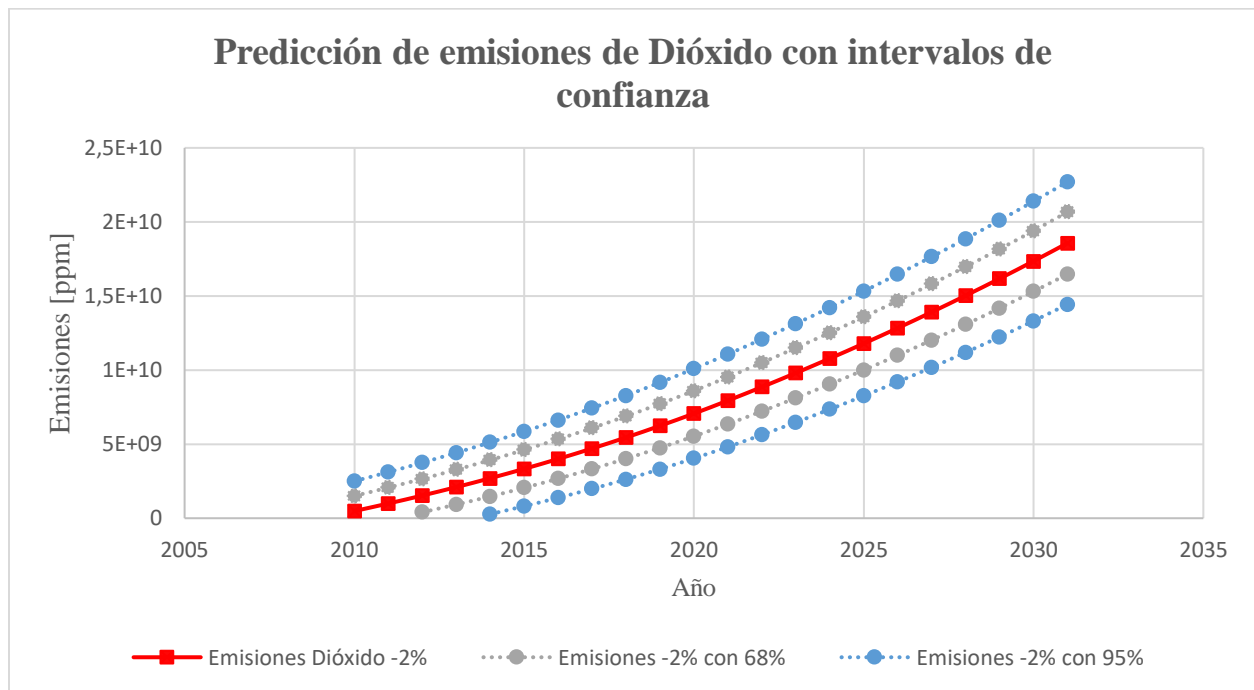
Emisiones Dióxido -2%	
Año	Emisiones -2% [ppm]
2010	483414928,1
2011	993676385,6
2012	1532233139
2013	2100681788
2014	2700678065
2015	3333966404
2016	4002379938
2017	4707899633
2018	5452565589
2019	6238565739
2020	7068176716
2021	7943822985
2022	8858805038
2023	9805051827
2024	10783206082
2025	11793894328
2026	12837714473
2027	13915230708
2028	15026967930
2029	16173405647
2030	17354971331
2031	18572033169

Nota: Esta tabla muestra la predicción de emisiones de dióxido desde el año 2010 hasta el año 2031 con el plan de movilidad sostenible implementado.

En la Figura 16 se representa la línea de tendencia de las emisiones a través de los años con la implementación sostenible, teniendo también los dos intervalos de confianza de 68% y 95% para cada uno de los años, hasta el año 2031.

Figura 16

Predicción de emisiones de Dióxido con el plan de implementación aplicado.



Nota: Esta figura representa de forma visual las emisiones de dióxido de 2010 a 2031, con los dos intervalos de confianza de 68 y 95%, con el plan de implementación de movilidad sostenible llevado a cabo.

6.5 Comparativa de las emisiones con y sin implementación de vehículos eléctricos

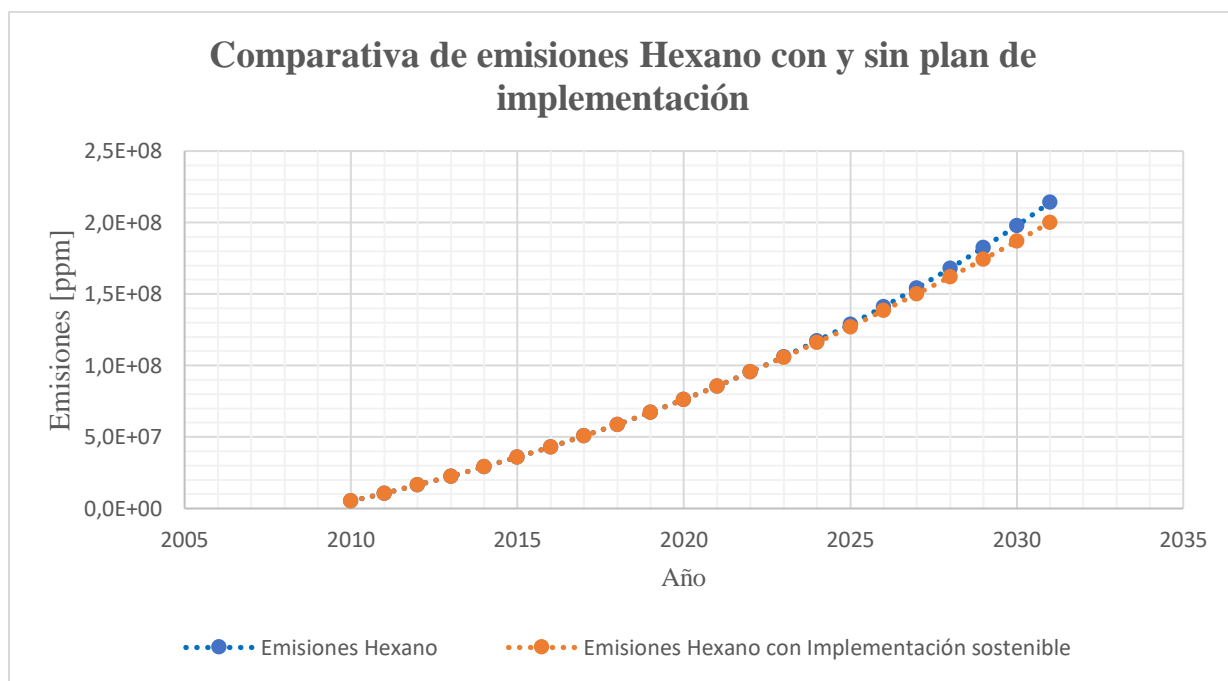
Con el fin de generar un análisis comparativo de las emisiones que podrían generarse si se toman medidas de implementación de movilidad de sostenible en el área de Bucaramanga y como influenciarían en la reducción de los gases contaminantes con el mapa actual, se sobrepusieron las dos graficas para generar un análisis visual y numérico.

6.5.1 Comparativa de Hexano con y sin plan de implementación.

En la Figura 17 se presentan las dos líneas de tendencia de las emisiones para el hexano desde el año 2010 hasta el año 2031. Siendo la gráfica azul el mapa actual de emisiones acumuladas estimadas y la tendencia naranja las emisiones si se llegase a implementar el plan de movilidad sostenible desde el 2022.

Figura 17

Comparativa de Emisiones de Hexano con y sin plan sostenible.



Nota: Esta figura representa de forma visual la comparativa de las emisiones de hexano de 2010 a 2031, con el plan de implementación de movilidad sostenible llevado a cabo y con el panorama actual.

En la Figura 17 se puede notar que aunque la implementación de vehículos se realizaría en el año 2022, la reducción de Hexano se hace cada vez más alta a medida que avanzan los años. Se estima que para dentro de 5 años (año 2026) las emisiones de Hexano se reduzcan un 2,055%, lo

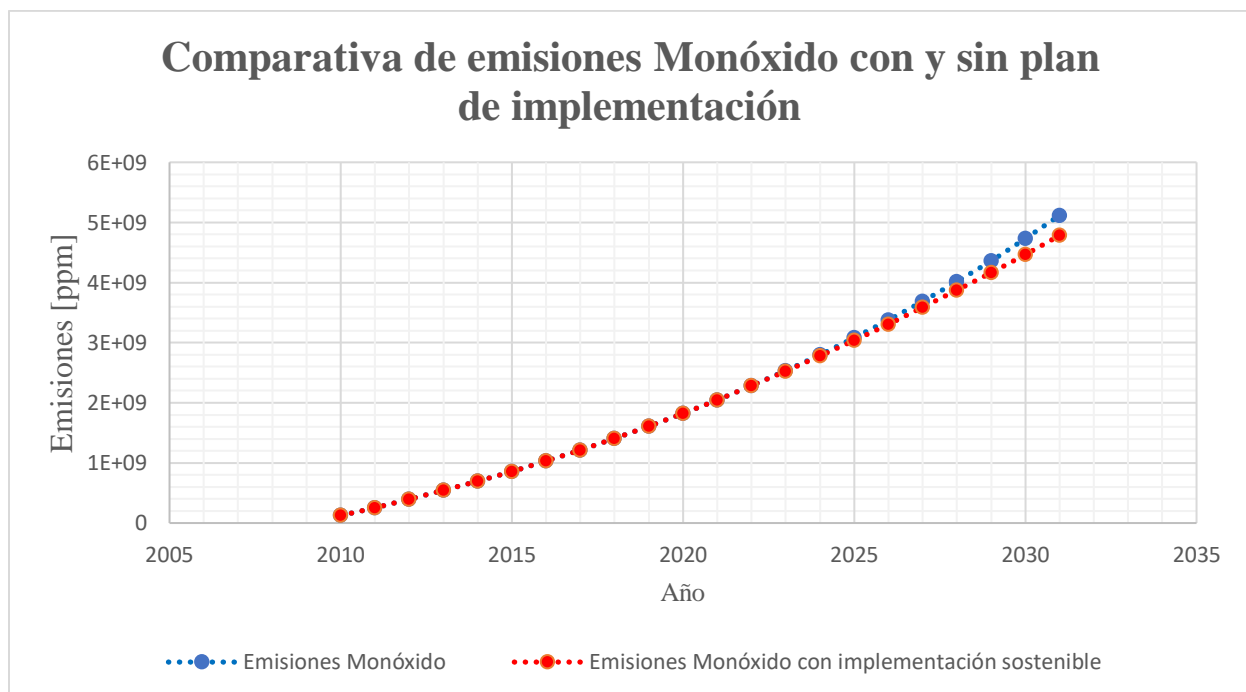
que representa una cantidad de 2902964,3 ppm menos; para el año fin del estudio: 2031, se tiene que las emisiones se bajarían en una cantidad 13997902,02 ppm y un 6,5%. Por lo que se denota que dentro de 10 años la reducción de este gas estaría por encima del 6%, y a medida que avanza el tiempo la diferencia de emisiones con y sin plan sostenible es cada vez mayor.

6.5.2 Comparativa de Monóxido con y sin plan de implementación.

En la Figura 18 se reportó la información sobre las emisiones de Monóxido de carbono en relación con los años. Las representación azul son las emisiones que se espera existan acumuladas en cada uno de los años manteniendo el panorama actual y de color rojo las emisiones que se consideran que se tendrán acumuladas al implementar una cantidad de motos eléctricas de forma anual.

Figura 18

Comparativa de Emisiones de Monóxido con y sin plan sostenible.



Nota: Esta figura representa de forma visual la comparativa de las emisiones de monóxido de 2010 a 2031, con el plan de implementación de movilidad sostenible llevado a cabo y con el panorama actual.

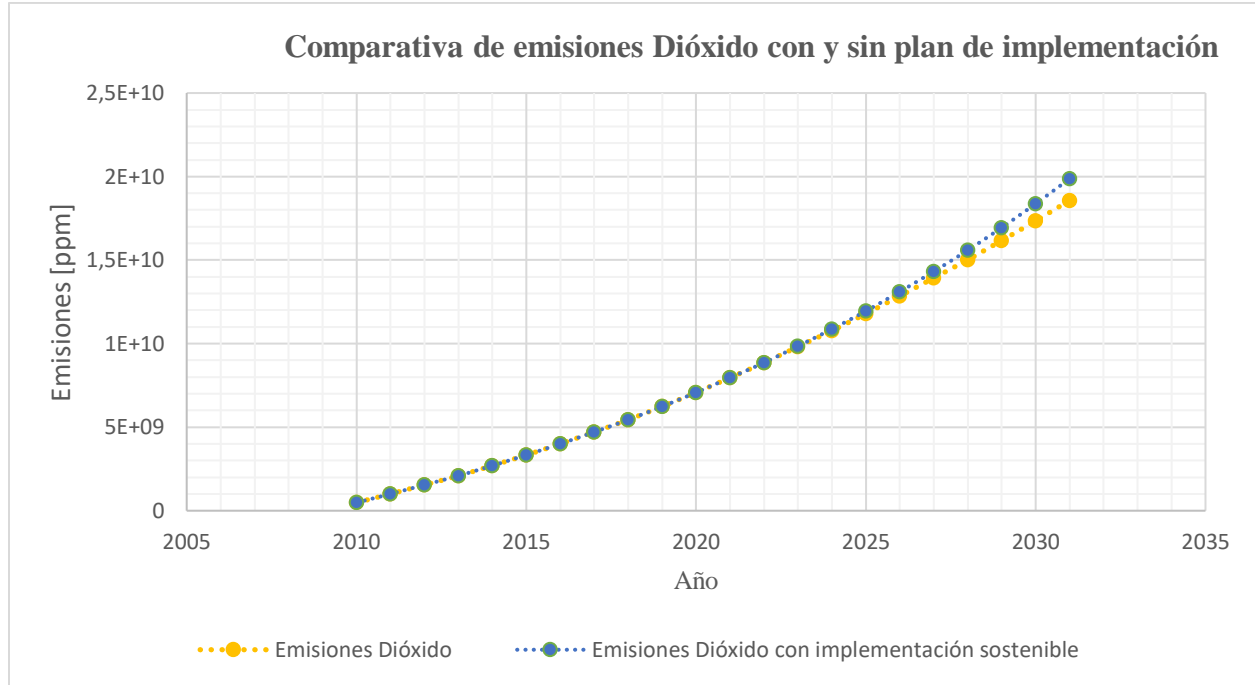
De las emisiones acumuladas de Monóxido en la Figura 18 se puede constatar que existe un aumento cada vez mayor a medida que pasan los años. Al tener una implementación sostenible se genera de forma evidente un decrecimiento de las emisiones por el registro de vehículos eléctricos. Se estima que dentro de 5 años las emisiones de monóxido se reduzcan en un 2,01%, lo que representa 69375390 ppm de gas; para el año 2031 no se generarán 334523482 ppm de CO, por lo que habrá un cambio de 6,54% respecto al mapa actual, en el cual no se tiene una vinculación de motos eléctricas del 2% por año.

6.5.3 Comparativa de Dióxido con y sin plan de implementación.

La figura 19 reporta la comparativa de las dos líneas de tendencia de las emisiones con el plan actual (Azul) y con la implementación del 2% de motos eléctricas (amarillo) sobre el registro automotor en cada año, versus el tiempo desde el año 2010 a 2031.

Figura 19

Comparativa de Emisiones de Dióxido con y sin plan sostenible.



Nota: Esta figura representa de forma visual la comparativa de las emisiones de dióxido de 2010 a 2031, con el plan de implementación de movilidad sostenible llevado a cabo y con el panorama actual.

La Figura 19 permitió generar que el 2,06% de emisiones de CO₂ serán reducidas para el año 2026, representando una cantidad de 269434387 partes por millón del contaminante. Así mismo, para dentro de 10 años se valora que las emisiones pasen de un 2,06% desde el año 2016 a un 6,6% para el 2031, por lo que se dejarían de generar 1299124504 ppm del gas contaminador Monóxido.

7. Conclusiones

El registro automotor del área metropolitana de Bucaramanga aunque comprende cuatro ciudades que lo conforman, se evidenció de forma cuantitativa que la ciudad de Girón es la que más tiene peso en el sistema de inventario de nuevas motos en la ciudad, ya que la diferencia de datos que existe en comparación de Girón con las otras tres ciudades es bastante notoria.

El registro de motocicletas en cada una de las ciudades (Bucaramanga, Girón, Piedecuesta y Floridablanca) que conforman el área metropolitana de Bucaramanga va en aumento respecto al año anterior, generando un parque automotor creciente y por tanto aumentando de la misma forma la cantidad de emisiones de gases contaminantes que se producen.

Los contaminantes que son emitidos por las motocicletas son influenciados en mayor parte por el tiempo de uso y/o kilometraje del motor, sin embargo también se ven afectados por variantes como el consumo de gasolina, cambio de aceite y reparaciones generales. De los tres gases emitidos por las motocicletas de combustión interna, el dióxido de carbono es el que mayor presencia tiene en el medio ambiente en promedio.

Un plan de implementación de movilidad sostenible en la ciudad, permitiría que en 10 años se tenga una reducción por encima del 6% de cada uno de los contaminantes emitidos respecto a si se mantuviera el panorama actual; teniendo en cuenta que este porcentaje de reducción es solo desde el apartado de emisiones de motocicletas, lo que representa un gran aporte a la minimización del daño ambiental. Sin embargo, con el avance de los años la reducción de gases será más notable y al tener cada vez más motos eléctricas la tendencia de producción de nuevas emisiones es cero.

Las series temporales son un tema poco estudiado sobre predicción que permite el análisis de datos de forma futura, relacionando las diferentes variables que pueden influir en el suceso de

los eventos, como lo son: la tendencia que se tiene del pasado, el patrón repetitivo o cíclico, la repetición estacional de los sucesos y el apartado dispersivo-aleatorio. Así mismo, los intervalos de confianza permiten darle veracidad a un estudio al generar un intervalo de datos que puede producirse a razón de un dato exacto.

8. Recomendaciones

Realizar un estudio historio más amplio respecto al registro de motocicletas en cada una de las ciudades, con el fin de obtener de forma más precisa las variables que permiten generar los datos mediante la predicción de series temporales.

Desarrollar el modelo de predicción en otro programa basado en series temporales como lo es RStudio, generando una comparativa entre este y la extensión de Excel-XRealStas de los datos, la veracidad y diferencia de la predicción.

Profundizar el estudio de las variables diferentes al tiempo de uso, que influyen en la generación de emisiones de una motocicleta y el impacto que esto tendría en las predicciones realizadas.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, A. (1994). Introducción al tratamiento de series temporales: Aplicación a las ciencias de la salud. Madrid, España.
- Aguirre, F. & Ortega, J. (2020). Estudio para la implementación del scooter eléctrico como sistema alternativo de movilidad vehicular en la ciudad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Alfonso, D. (2018). Emisiones de material particulado de los vehículos en Bogotá. Estrategias de gestión ambiental para su mitigación. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Carrión, A. (2011). Análisis de series temporales y técnicas de previsión. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- García, H. (2016). Análisis de series temporales para ingenieros. Valencia, España.
- Giraldo, W. & Toro, M. (2008). Estimación de la emisión de contaminantes por motocicletas en el Valle de Aburra. Medellín, Colombia.
- Gómez, L. & Loaiza, C. (2019). Estudio y estimación de emisiones generadas por motos de combustión interna en un sector de alta concentración y análisis de motos eléctricas como una alternativa viable de movilidad. Universidad Internacional del Ecuador. Guayaquil, Ecuador.
- Maza, J. & Núñez, F. (2018). Propuestas para el fomento de la movilidad eléctrica: Barreras identificadas y medidas que se deberían adoptar. Real Academia de Ingeniería de España. Madrid, España.
- Payri, F. & Desantes, J. (2018). Motores de combustión interna alternativos. Barcelona, España.

- Rojas, M. & Chacón, Y. (2011). Cuantificación general de emisiones de dióxido de carbono generadas por las actividades en la Universidad Industrial de Santander y propuestas de mitigación. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Sarmiento, L. & Rangel, R. (2015). Determinación de los índices de emisiones reguladas de quince vehículos representativos del parque automotor colombiano, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia.
- Steven, H. (2002). Worldwide Harmonized Motorcycle Emissions Certification Procedure. Institute for Vehicle Technology. Dusseldorf, Alemania.
- Tello, J. (2019). Estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis en la ciudad de Celendín empleando el modelo internacional de emisiones vehiculares. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Toledo, D. (2016). Estudio de contaminación de motocicletas de 4 tiempos en la ciudad de Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Valdivia-Infantas, M. M., & Quevedo, M. G. (2019). Neuropatía por n-hexano. Revista De La Sociedad Peruana De Medicina Interna, 21(4), 174-177. Perú.
- William. H & Donald. L. (1992). Mecánica de la motocicleta. Barcelona, España.