

Generación del ozono troposférico una vista hacia la zona petrolífera

Generation of tropospheric ozone a view towards the oil zone

González. G¹; Ochoa. J¹; Ramón J. D.²

¹Ximena González y Jenifer Ochoa. Estuantes de VIII Semestre
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad de Pamplona

²PhD. Jarol Derley Ramón Valencia
Docente Investigador del
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad de Pamplona

Resumen

La concentración del ozono troposférico se ha vuelto más relevante a través del tiempo lo que ha causado mayor interés en el estudio previo acerca de su comportamiento, composición, y contaminantes precursores que se pueden llegar a generar; el aumento de este contaminante se debe al resultado del gran número de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) procedente de las fuentes fijas y móviles que los emiten. Se calcula que el ozono troposférico añade un 16% al efecto total de calentamiento provocado por los principales antropogénicos con efecto invernadero emitidos hasta hoy (Ozono troposférico, 2016).

En síntesis, se investigó el comportamiento espacio temporal del ozono troposférico en una zona industrial que se caracteriza por ser una zona petrolera. Se utilizó un método de selección de datos validos e inválidos recopilados en la base de datos, esta información revelo un episodio de contaminación atmosférica para la estación de verano que juega un papel importante en el estudio de los niveles de calidad de aire, lo que conlleva a efectuar el modelo de matriz de factorización positiva (PMF) con el fin de evaluar la influencia directa que ejercen las variables meteorológicas como la temperatura, radiación solar, humedad relativa, dirección y velocidad de vientos con las concentraciones de ozono troposférico, del mismo modo se encontró que la afluencia del ozono se deben a la disminución de los vientos impidiendo la dispersión y transporte, además se refleja relación directamente proporcional cuando aumenta la radiación solar y temperatura lo que permite la generación y transformación de este contaminante precursor.

Palabras clave

Precursor troposférico, variables meteorológicas, modelo fuente receptor.

Abstract

The concentration of tropospheric ozone has become more relevant over time, which has caused greater interest in the previous study about its behavior, composition, and precursor pollutants that can be generated; The increase in this pollutant is due to the large number of nitrogen oxides (NO_x) emissions from the stationary and mobile sources that emit them. It is estimated that tropospheric ozone adds 16% to the total warming effect caused by the main anthropogenic greenhouse gases emitted to date (Tropospheric Ozone, 2016).

In summary, the spatio-temporal behavior of tropospheric ozone was investigated in an industrial zone characterized by being an oil zone. A selection method of valid and invalid data collected in the database was used, this information revealed an episode of atmospheric pollution for the summer season that plays an important role in the study of air quality levels, which entailed to carry out the positive factorization matrix (PMF) model in order to evaluate the direct influence exerted by meteorological variables such as temperature, solar radiation, relative humidity, direction and speed of winds with tropospheric ozone concentrations, in the same way It was found that the influx of ozone is due to the decrease in winds preventing dispersion and transport, in addition, a directly proportional relationship is reflected when solar radiation and temperature increases, which allows the generation and transformation of this precursor pollutant.

Keywords

Tropospheric precursor, meteorological variables, receptor source model.

1. INTRODUCCIÓN

El ozono troposférico (O_3) es el principal contaminante precursor fotoquímico y se origina principalmente en las áreas urbanas por factores como las emisiones antrópicas y los factores meteorológicas. A su vez, por ser un precursor fotoquímico reacciona con la luz solar, por lo que desempeña un papel primordial en su formación, ya que entre las 6 y las 8 am, con el inicio de la radiación solar, el Dióxido de nitrógeno (NO_2) se fotoliza para formar O_3 , aumentando los niveles de O_3 y disminuyendo los niveles de NO_2 . Este proceso alcanza su máxima producción de O_3 después del máximo de la radiación solar, porque es cuando la velocidad de fotólisis de la reacción 1 es máxima (ATKINSON, 2000), es decir que la temperatura juega un papel importante en la formación, ya que va de la mano con la radiación solar dado que son directamente proporcional a través del tiempo, del mismo modo las concentraciones más altas de este contaminante son principalmente en verano.

Reacción 1. Transformación fotoquímica del ozono



El ozono tiene como precursores los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV), el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH_4), en consecuencia, las concentraciones elevadas de ozono se encuentran a menudo a escala regional en condiciones climáticas cálidas, soleadas y estables. (Echávez et al., 2015; Carro-Calvo et al., 2017). Lo cual hace importante las

variables meteorológicas como factores primarios que impulsan la producción de ozono a nivel del suelo. (Zhang et al., 2011; Li et al., 2016; Li et al., 2017; Lu et al., 2019)

Según los reportes de la Agencia Europea del Medioambiente (EEA, 2011) varios procesos patofisiológicos del pulmón resultan de la exposición al ozono, pues es un potente oxidante, extremadamente irritante para el sistema respiratorio. Como resultado ha conllevado a la frecuente investigación de este precursor por los impactos negativos generados en la salud como en la vegetación (Moreno y Rueda, 2016).

Hay que mencionar que el objetivo de la investigación es conocer el comportamiento del contaminante ozono en función de las variables meteorológicas, ya que gracias a estas se puede predecir el comportamiento de los contaminantes, como episodios de contaminación atmosférica que se catalogan como una anomalía, simultáneamente se evaluara el contaminante con la norma de calidad el aire que lo rige en Muskiz (España) municipio de estudio.

En el presente estudio, se adopto el modelo de factorización de matriz positiva para análisis de datos ambientales (PMF) de la EPA, este es un modelo de receptor matemático desarrollado por científicos de la EPA que brinda apoyo científico para el desarrollo y la revisión de los estándares de calidad del aire y del agua, la investigación de la exposición y el análisis forense ambiental. El modelo PMF puede analizar una amplia gama de datos de muestras ambientales: sedimentos, deposición húmeda, agua superficial, aire ambiente y aire interior. (Positive Matrix Factorization Model for environmental data analyses, 2019)

2. METODOLOGIA

Se diseñó una metodología de investigación centrada en explicar paso a paso el procesamiento de la base de datos, seguido con la validación y procesamiento de cada dato medido y posteriormente se analiza las variables de calidad del aire y meteorológicos mediante graficas espacio temporal y la

ejecución de modelos fuente receptor PMF, con fin de analizar el comportamiento del ozono troposférico (ver figura 1).

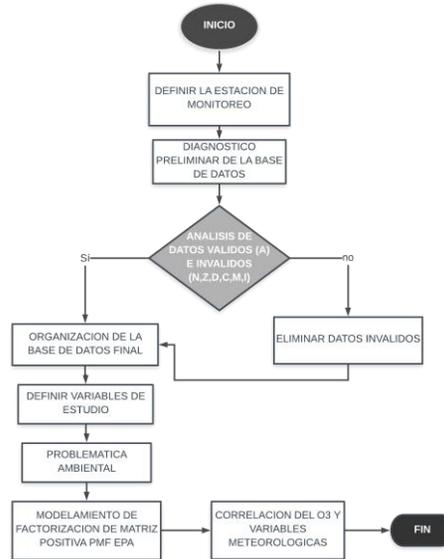


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología. Fuente: Autor 2020.

2.1 ZONA DE ESTUDIO

El municipio, ubicado en el punto más occidental de la costa vizcaína, limita por el norte con el mar Cantábrico, por el sur con Galdames y por el este con Abanto y Ciérvana, todos ellos municipios de Vizcaya como se aprecia en la figura 2 (Ayuntamiento de Muskiz, Vizcaya, 2013). Esta es una zona industrial petrolífera, lo que conlleva que sea el eje de la actividad económica de la población con un 78,05% y con una población de 7,456 habitantes (Muskiz, 2017; Angulo et al., 2017).



Figura 2. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Autor 2020.

Es de considerar que los principales contaminantes emitidos de la zona petrolífera son:

- Óxidos de carbono (COx), como dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO).
- Óxidos de nitrógeno (NOx), como dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de nitrógeno (NO).
- Óxidos de azufre (SOx), como dióxido de sulfuro (SO₂)

2.2 ESTACION DE MONITOREO

La Red de Control de calidad del Aire está integrada por estaciones que se disponen por todo el territorio vasco, actualmente hay 53 estaciones, de las cuales 14 pertenecen a actividades industriales. Estas estaciones permiten medir la contaminación de fondo en condiciones naturales, la calidad del aire en zonas urbanas y también entornos industriales. (Melo et al., 2017; Vasco, 2020). Los datos obtenidos fueron horarios desde marzo de 2010 hasta diciembre de 2012, donde suministró información de PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NOx y O₃, así mismo de variables meteorológicas como presión atmosférica, humedad relativa, temperatura y radiación solar.

2.3 ANALISIS DE BASE DE DATOS VALIDOS E INVALIDOS

Los datos registrados en la estación de monitoreo fueron sometidos a un proceso de validación donde se analiza la información reportada, los cuales se conocen por las siglas:

- A - Dato válido
- N - Dato nulo (Inválido)
- Z -Cero analizadores (Calibración) (Inválido)
- C-Consigna analizador (Calibración) (Inválido)
- M - Mantenimiento (Inválido)
- I - Dato invalidado (Inválido)
- D - Dato defectuoso (Inválido)
 - Dato corregido (Válido)
- R - Dato recuperado (Válido)

Posteriormente para asegurar la confiabilidad de la base de datos, se sometió a una validación manual para hallar los posibles datos atípicos, donde se eliminó la información registrada como inválida con su respectiva sigla.

En cuanto a los porcentajes de los datos validos e inválidos se encontró que para los contaminantes tales como O₃, PM2.5, PM10, SO₂ y los NO_x, registra un porcentaje de datos confiable de 79% hasta 83% para el año 2010, así mismo se realizó el mismo proceso para los datos meteorológicos donde evidencia un rango de porcentaje de 83%.

Simultáneamente para el año 2011 se obtuvo para los contaminantes atmosféricos una variación de porcentaje desde 32,77% hasta 98%, para las variables meteorológicas su rango oscila en el 99%.

Por último, para el 2012, la cuantificación para los contaminantes está dentro de un rango para datos validos del 0% y 3% hasta el 90% para los contaminantes O₃, PM2.5, PM10, SO₂ y NO_x, en contraste con las variables meteorológicas como presión temperatura, dirección y velocidad del viento, radiación solar y humedad oscilan dentro de un rango de datos validos del 46% hasta el 93%, lo cual se deduce que la incertidumbre es mucho mayor.

3.4 VARIABLE DE ESTUDIO

Inicialmente se consideró tomar el año 2011 como base de estudio, debido que presenta un mayor porcentaje de datos válidos, sin embargo, se estudió en un lapso de tiempo de un mes, con el fin de evaluar a fondo el comportamiento promedio diario y horario de las variables de contaminación atmosférica, por tanto se consideró las gráficas espacio temporales de todos los meses en los tres años, donde se observa detalladamente el comportamiento de los contaminantes e incluso los datos validos e inválidos que reporta el mismo. Dicho lo anterior se concretó como muestra representativa el mes de septiembre del año 2012, dado que contiene la totalidad de la base de datos tanto del contaminante ozono, como de las variables meteorológicas radiación solar, temperaturas, humedad relativa, dirección y velocidad de vientos.

Comenzaremos analizando los días de ozono máximo y luego pasaremos al análisis de la variabilidad diaria y horaria con respecto a las variables. Dado que, estudios anteriores han demostrado que la precipitación, la temperatura del aire, la humedad relativa, la duración del sol, la presión del aire en la superficie y la velocidad del viento son los principales factores que afectan las concentraciones de ozono a nivel del suelo (Tang et al., 2012; Gutierrez et al., 2016; Trujillo et al., 2019).

3.4 MODELAMIENTO DE FACTORIZACION DE MATRIZ POSITIVA PMF EPA

Este modelo empleado funciona reduciendo la cantidad de variables en conjuntos de datos analíticos complejos a combinaciones de especies llamadas tipos de fuentes y contribuciones de fuentes (Positive Matrix Factorization Model for environmental data analyses, 2019). De manera que se evaluaron tres factores, factor 1 (fuente de contaminantes secundarios), factor 2 (transporte regional) y factor 3 (emisiones fijas y móviles) con la finalidad de compararlos con unos perfiles medidos, así mismo se determina el porcentaje de influencia en cada factor.

Los resultados del modelo PMF están limitados a proporcionar contribuciones positivas de la fuente y la diferencia ponderada de incertidumbre entre la concentración de especies observada y prevista se minimiza (Positive Matrix Factorization Model for environmental data analyses, 2019)

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 CUANTIFICAR LA BASE DE DATOS Y DESCARTAR LOS DATOS NO VALIDOS.

La inspección se hizo con el fin de poder identificar en el procedimiento de nuestra base de datos las anomalías que se presentaron en la estación de Muskiz arrojando datos superiores que influyeron en el comportamiento de estos.

En la figura 3 se aprecia la cuantificación del mes de septiembre del 2012 para el contaminante atmosférico ozono troposférico y variables meteorológicas como dirección del viento radiación solar, temperatura y humedad relativa, con un total de datos de 744 lo que equivale a 100% de datos válidos para el mes, es por esto que se considera representativo en base a la información de datos que proporciono.

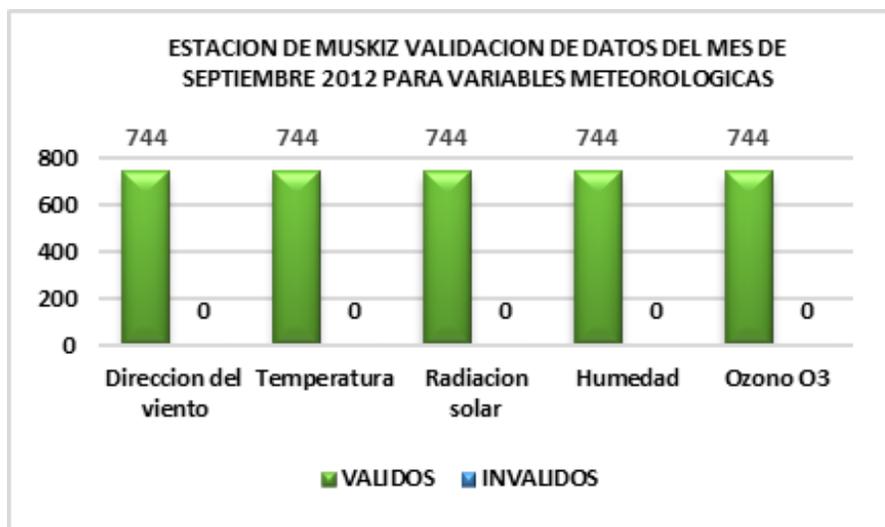


Figura 3. Cantidad de datos validos e inválidos. Fuente: Autor 2020.

3.2 RELACIÓN DEL CONTAMINANTE CON LA VARIBALE METEOROLOGICA

El estudio se centra en analizar no solo los componentes que forman la atmosfera, sino también en lo que ocurre en el aire cuando los contaminantes se encuentran bajo determinadas condiciones meteorológicas como la temperatura, radiación solar, velocidad y dirección de viento, a lo largo de las distintas estaciones del año.

Para este estudio se tomo el mes de septiembre debido a que presento una baja incertidumbre, a su vez es un mes representativo en vista que es la estación de verano, cabe señalar que en el mes de septiembre se experimenta un evento astronómico que indica el cambio de estación denominado equinoccio, esto tiene lugar del 21 al 22 de septiembre donde el sol toma una posición equitativa en los dos polos terrestres.

En la figura 4 se obtiene un promedio horario del mes de septiembre del ozono y la variable temperatura, normalmente se aprecia un mínimo del ozono entre la 1 am y 6 am debido a la ausencia de radiación solar, mientras que entre las 12 pm hasta las 5 pm se presenta una cresta como resultado de la variación diurna de radiación solar y la temperatura, es decir estas dos variables meteorológicas son directamente proporcionales (Velandia et., 2016). Por lo tanto, se

observa una correlación de estas dos variables ya que sin ellas no se presenta altos niveles de este precursor, dado que para su producción se necesita ser fotolizados los contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV) y metano (CH₄).

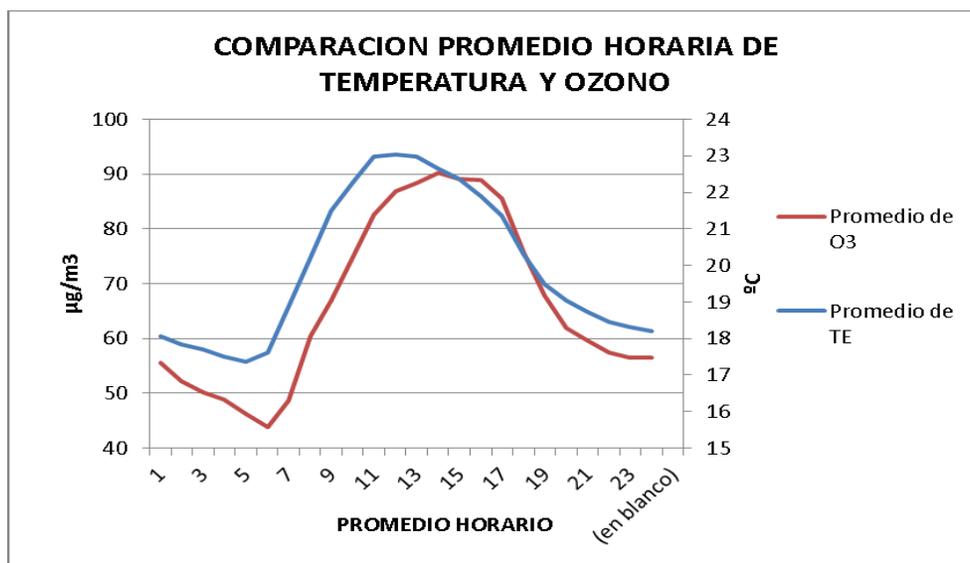


Figura 4. Comparación promedio horaria temperatura y ozono, mes de septiembre 2012. Fuente: Autor 2020.

En la figura.5 se observa el comportamiento del ozono en función de la humedad relativa puesto que son inversamente proporcionales, es decir una disminuye en función de la otra. En síntesis, se presenta un bajo nivel de ozono desde la 1 a 7 am, por el contrario, la humedad relativa presenta un aumento alrededor del 90%; consideremos ahora el incremento del ozono que oscila entre las 12 a 6 pm y el descenso del porcentaje de la humedad relativa dado que la temperatura y la radiación solar aumentaron. Es importante mencionar que el mes de septiembre del 21 a 22 se determino que estaba en un periodo de verano gracias a un evento astronómico lo cual indica que la alta temperatura y baja humedad incremento en mayor medida la producción del mismo.

Como bien sabemos la dispersión de los contaminantes en la atmosfera depende de la dirección y velocidad del viento, ya que la baja velocidad del viento genera un depósito de concentraciones de este contaminante que se evidencia en la fig.7 donde predomina las velocidades bajas es decir entre 0,5 y 2,1 m/s con una dirección de viento del suroeste al noreste, donde no se ve afectado por la topográfica de la zona, ya que tiene características de ser plana (Figura 6).

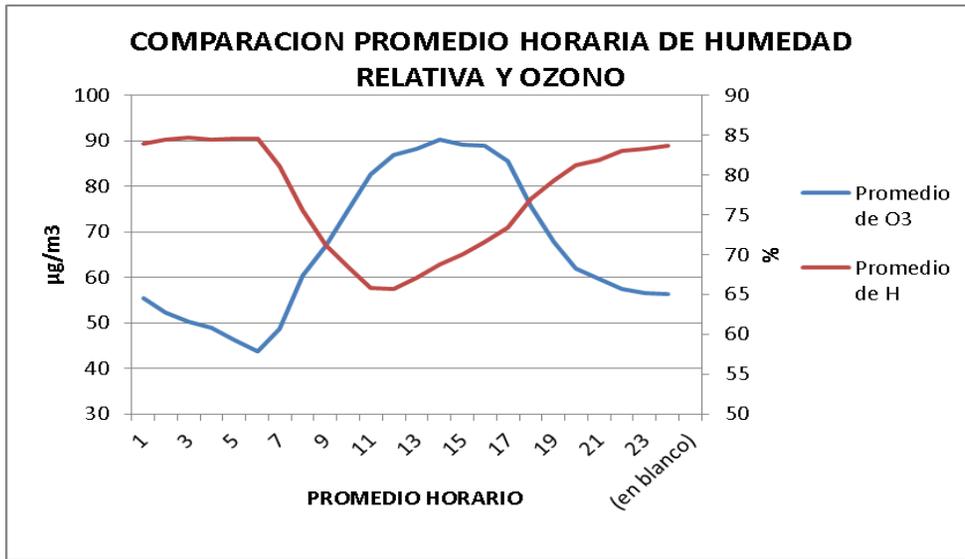


Figura 5. Comparación promedio horaria de humedad relativa y ozono, mes de septiembre 2012. Fuente: Autor 2020.

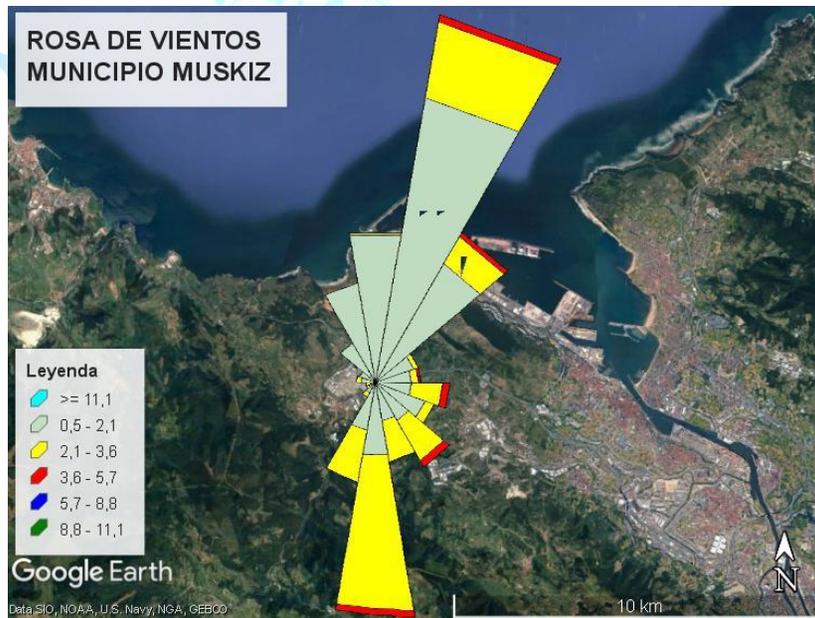


Figura 6. Rosa de viento del municipio muskiz. Fuente: Autor 2020.

3.3 INTERACCIÓN DEL PROGRAMA PMF CON EL OZONO TROPOSFÉRICO Y VARIABLES METEOROLÓGICAS

Los programas desarrollados nos permiten modelar diversos casos tales como estudiar la variación de la concentración. En este modelo se encontró un episodio de contaminación debido a la alta concentración observada en el lapso de tiempo desde el día 6 hasta el 10 de septiembre 2012, que sobre pasa los límites establecidos en el real decreto 102/2011, así mismo se considera un episodio de contaminación, ya que desde el día 6 hasta el 9 no se prevé mejoría, después de este fenómeno se vuelve a normalizar las concentraciones (Figura 6). Del mismo modo al efectuar un análisis detallado se observa en este lapso de tiempo como predomina los vientos suaves (0,5 a 2,1) m/s, lo que indica una de las razones para la deposición de este contaminante en la zona, es decir la dispersión fue mínima. La base de datos registra unos valores máximos para el día 8 de septiembre con un rango de 153 a 158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una temperatura de alrededor de 27°C, como consecuencia de un mayor incremento en la producción de la zona industrial y velocidades de vientos suaves.

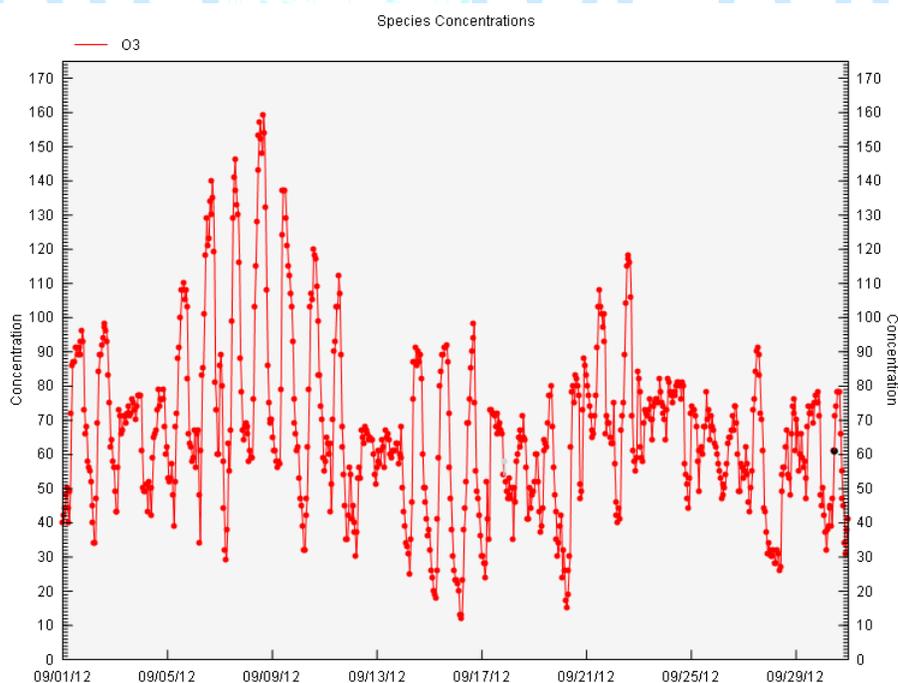


Figura 7. Episodio de contaminación del ozono. FUENTE: Autores, 2020.

En la fig.8 se aprecia la aplicación del modelo factorización de matriz positiva (PMF) que se desglosa en tres factores para cada una de las variables:

- Factor 1 (fuente de contaminantes secundarios generados por fotoquímica)
- Factor 2 (fuente de transporte regional)
- factor 3 (fuente de emisiones fijas y móviles)

El factor 1 hace relación de contaminantes provenientes de zonas cercanas, esto se corrobora en la dirección del viento debido a su alta predominancia. La relación del factor 2 con el contaminante nos indica que el aumento del ozono se debió principalmente a la presencia de vientos que arrastro contaminantes de las zonas aledañas hacia la zona de estudio. Del mismo modo la variable humedad relativa y temperatura se ven afectadas principalmente por este factor. El comportamiento del factor 3 tiene incidencia en el ozono y variables meteorológicas como radiación solar, temperatura y velocidad del viento lo cual se relaciona con presencia de fuentes fijas como chimeneas, zonas industriales y fuentes móviles como tráfico vehicular, ya que esta fuente oscila en un grado medio

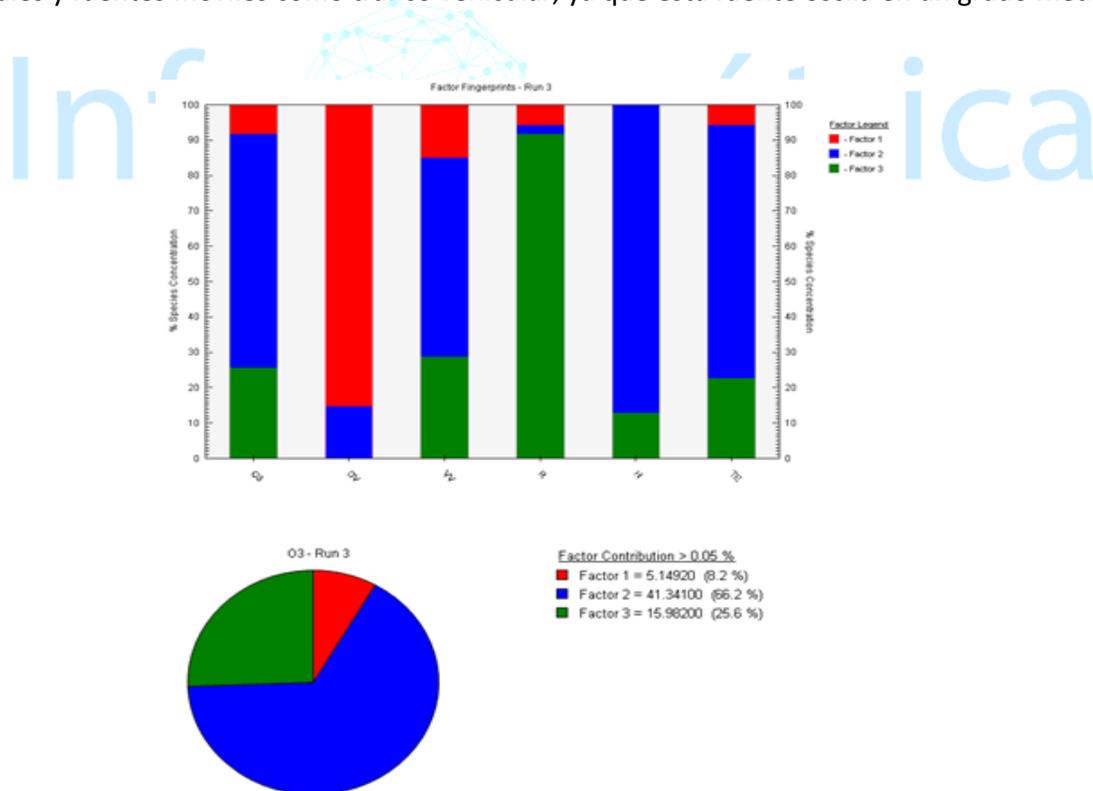


Figura 8. Evaluación de los factores que influyen en cada una de las variables. **Fuente:** Autores, 2020.

4. CONCLUSIONES

- La radiación solar y la temperatura del aire se correlacionaron positivamente con las concentraciones de ozono, mientras que la humedad relativa es inversamente proporcional con las concentraciones de ozono. Indicando que las variaciones de las variables meteorológicas influyen en los contaminantes atmosféricos precursores de ozono troposférico.
- Las interacciones entre los factores meteorológicos y las emisiones de los precursores antropogénicos juegan un papel importante en la temporada de verano. Esto puede deberse a las temperaturas altas en los meses de verano, que favorecen la reacción fotoquímica acelerada entre los precursores, lo que resulta en un aumento de la concentración de ozono a nivel troposférico.
- Las concentraciones de ozono troposféricos se distribuyen en un 66.2% en la fuente de transporte regional, las cuales se caracterizan por el transporte viento y afecta la zona de estudio, además se aprecia que las variables meteorológicas como la humedad relativa y la temperatura se relacionan con los niveles de ozono registrados principalmente en zona petrolífera.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco por facilitarnos el acceso a datos meteorológicos y de calidad del aire; y al Grupo de Investigación Atmosférica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Bilbao, por su apoyo y ayuda durante la realización de esta investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Rafael Perciliano da Silva de, et al. "Comparación de la calidad del aire en ubicaciones industriales y urbanas". *Revista Internacional de Ciencias* , vol. 9, no. 3, 2019, pág. 47+. Gale

Academic

OneFile, [https://link-gale-](https://link-gale-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/apps/doc/A625576795/GPS?u=pamplona&sid=GPS&xid=257f3b3d)

[com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/apps/doc/A625576795/GPS?u=pamplona&sid=GPS&xid=257f3b3d](https://link-gale-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/apps/doc/A625576795/GPS?u=pamplona&sid=GPS&xid=257f3b3d). Consultado el 6 de agosto. 2020.

Ana Santurtún, José Carlos González-Hidalgo, Arturo Sanchez-Lorenzo, María Teresa Zarrabeitia, Surface ozone concentration trends and its relationship with weather types in Spain (2001–2010), Atmospheric Environment, Volume 101, 2015, Pages 10-22, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.005>.

Angulo, W. J., Mendoza, J. A. y Uriel, H. U. (2017). Análisis de la vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa en la Cuenca Tanauca estudio de caso. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3276>

Atmos Reinar. , 45 (2011) , pp. 4898 - 4906 , [10.1016/j.atmosenv.2011.06.013](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.013)

Agencia Europea de Medioambiente, EEA (2011): Ozono Troposférico. Recuperado de <http://reports.es.eea.europa.eu/92-828-3351-8/es/page005.html>

Ayuntamiento de Muskiz, Vizcaya. (2013). Ayuntamiento. <https://www.ayuntamiento.es/muskiz>

Positive Matrix Factorization Model for environmental data analyses. (2019, 19 noviembre). US EPA. <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analys>

Eirini Boleti, Christoph Hueglin, Satoshi Takahama, Trends of surface maximum ozone concentrations in Switzerland based on meteorological adjustment for the period 1990–2014, Atmospheric Environment, Volume 213, 2019, Pages 326-336, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.018>.

Echávez, K., Pastran, Y. y Polo, A. (2015). Estimación del CO₂ emitido y capturado en la sede sabanas y el campus deportivo de la Universidad Popular del Cesar. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo.

ISSN 1900-9178. Volumen (6), Numero (2).

DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2015.3252>

Gutierrez, T., Castellanos, C. y Hernández, N. (2016). El ordenamiento territorial frente a las consecuencias de los cambios climáticos. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3338>

Leopoldo Carro-Calvo, Carlos Ordóñez, Ricardo García-Herrera, Jordan L. Schnell, Spatial clustering and meteorological drivers of summer ozone in Europe, Atmospheric Environment, Volume 167, 2017, Pages 496-510, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.050>.

Melo, J., Saavedra, S. y Ramón, J. A. (2017). Evaluación de la adsorción de Cu^{2+} y azul de metileno en biosorbentes de bajo costo obtenidos a partir de biomasa residual de la agroindustria de cítricos. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3277>

Moreno, C. y Rueda, L. (2016). La educación ambiental como herramienta para la recuperación de la cobertura vegetal, mediante prácticas agro-ecológicas en la comunidad minera asograstores, asociación de gravilleros de Sabana de Torres. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3260>

Muskiz. (2017). UDALMAP. <https://www.ogasun.ejgv.euskadi.eus/r51-20876x/es/t64amVisorWar/t64aCreaFicha.jsp?R01HNoPortal=true&lan=0&code=48071>

Odón R. Sánchez-Ccoyllo, Rita Yuri Ynoue, Leila Droprinchinski Martins, Maria de Fátima Andrade, Impacts of ozone precursor limitation and meteorological variables on ozone concentration in São Paulo, Brazil, Atmospheric Environment, Volume 40, Supplement 2, 2006, Pages 552-562, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.04.069>.

Tang et al., 2012 G. Tang , Y. Wang , X. Li , D. Ji , S. Hsu , X. Gao Variaciones espacio-temporales en el ozono superficial en el norte de China observadas durante 2009-2010 y posibles implicaciones para

las futuras estrategias de control de la calidad del aire Atmos Chem Phys. , 12 (2012) , pp. 2757 - 2776 , [10.5194 / acp-12-2757-2012](https://doi.org/10.5194/acp-12-2757-2012)

Trujillo, J. E., Caballero, J. E. y Ramón, J. D. (2019). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM10 del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (10), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2019.3957>

Vasco, G. J. E.-. (2020, 30 abril). *Descripción de la Red de Control de Calidad del Aire - Aire - Euskadi.eus*. EUSKADI.EUS. <https://www.euskadi.eus/informacion/la-red-de-control-de-calidad-del-aire/web01-a2ingair/es/>

Velandia, F. J., Granados, J. D., Ramón, J. D. y Roa, A. L. (2016). Caracterización de consorcios microbianos con potencial degradador de contaminantes en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3278>

Wei Zhao, Shaojia Fan, Hai Guo, Bo Gao, Jiaren Sun, Laiguo Chen, Assessing the impact of local meteorological variables on surface ozone in Hong Kong during 2000–2015 using quantile and multiple line regression models, Atmospheric Environment, Volume 144, 2016, Pages 182-193,ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.077>.

Yueming Dong, Jing Li, Jianping Guo, Zhongjing Jiang, Yiqi Chu, Liang Chang, Yang Yang, Hong Liao, The impact of synoptic patterns on summertime ozone pollution in the North China Plain, Science of The Total Environment, Volume 735, 2020, 139559, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139559>.

X. Querol, A. Alastuey, C. Reche, A. Orto, M. Pallares, F. Reina, J.J. Dieguez, E. Mantilla, M. Escudero, L. Alonso, G. Gangoit, M. Millán, On the origin of the highest ozone episodes in Spain, Science of The Total Environment, Volume 572, 2016, Pages 379-389, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.193>.