



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN GEI EN COLOMBIA ENTRE 1990 – 2018, MEDIANTE UN ANÁLISIS DE DATOS TIPO PANEL

Juan Camilo Guerra Garcés (icguerrag@libertadores.edu.co)

Fundación Universitaria Los Libertadores

Especialista en Estadística Aplicada, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

RESUMEN

Objetivo. Analizar el impacto ambiental de las principales fuentes de emisión de GEI en Colombia durante el periodo 1990 – 2018, mediante un análisis de datos tipo panel. **Materiales y Métodos.** El conjunto de datos del estudio corresponde a una serie temporal del BUR 3 del periodo 1990 – 2018. A la cual se le realiza un análisis descriptivo y un análisis de datos tipo panel. **Resultados.** El modelo explica el 100% de la variabilidad de los datos. **Conclusión.** Se obtiene un buen ajuste del modelo a los datos, expresando una buena estimación del modelo.

PALABRAS CLAVES: Calentamiento Global, Gases de Efecto Invernadero (GEI), Series de Tiempo, Datos Panel, CO₂ – Equivalente.

ABSTRACT

Objective. Analyze the environmental impact of the main sources of GHG emissions in Colombia during the period 1990 - 2018, through a panel data analysis. **Materials and methods.** The data set of the study corresponds to a time series of the BUR 3 of the period 1990 - 2018. To which a descriptive analysis and a panel data analysis are carried out. **Results.** The model explains 100% of the data acquisition. **Conclusion.** A good fit of the model to the data is obtained, expressing a good estimation of the model.

KEYWORDS: Global Warming, Greenhouse Gases (GHG), Time Series, Data Panel, CO₂ – Equivalent.

1. INTRODUCCIÓN.

Las actividades antropogénicas son en gran medida una insaciable e irracional necesidad de explotar los recursos naturales. Con el tiempo, causando un impacto ambiental de crecimiento exponencial, muchas veces incalculable e invisible, hasta el punto de ser irreparable.

Por más de una década, se ha reportado el aumento de la temperatura en todo el planeta. Por lo que los términos “Calentamiento Global y Gases de Efecto Invernadero (GEI)” se han vuelto un tema de interés en casi todos los campos de aplicación. Diversas investigaciones identifican a seis GEI como los protagonistas en el desarrollo del Calentamiento Global y las actividades antropogénicas que los generan (Vázquez González, 2013) (Martínez Ramírez, 2005) (Hernández, 2021). Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), son los principales responsables del calentamiento global, estas emisiones proceden fundamentalmente del sector energético y de la producción de combustibles fósiles. El metano (CH₄), es el segundo gas en orden de importancia tras el CO₂, y sus principales fuentes de emisión son la agricultura, los residuos y la energía. El óxido nitroso (N₂O), es un gas de origen industrial y del uso de abonos en la agricultura. Por otro lado, los hidrofluorocarbonos (HFC), los hidrocarburos perfluorado (PFC) y los hexafluoruros de azufre (SF₆), son gases de origen industrial con alta permanencia de la atmosfera. A pesar, de que todos estos gases impactan la capa de ozono, las cantidades de emisiones se reportan como emisiones de CO₂ equivalente.

De acuerdo al tercer informe bienal de actualización de cambio climático de Colombia (BUR 3) (IDEAM, 2021). En su reporte del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), considera cuatro fuentes de emisión importantes: 1. Energía, 2. Procesos Industriales y Uso de Productos, 3. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra & 4. Residuos. Donde se informa que en el periodo de 1990 a 2018, en Colombia se han generado 302.974 Gg CO₂ Equivalente, lo cual equivale a 302.974.000 Ton de CO₂ equivalente.

Un estudio sobre la estimación de emisiones de GEI en un estado de México (Martínez-Prado, 2016), revela que las contribuciones más relevantes están dadas por los mismos cuatro grupos reportados por el IDEAM en Colombia. China por otro lado (Cuevas Tello, 2011), relaciona el crecimiento poblacional y el crecimiento económico de los sectores involucrados, son factores influyentes en las emisiones de GEI. Por lo que se entiende que el problema del calentamiento global y las emisiones de GEI es de responsabilidad mundial, que las necesidades que las respaldan son comunes entre muchos países y que sus principales fuentes pueden ser las mismas que en Colombia.

A medida que se conoce el problema que representan las emisiones de GEI para la vida en el planeta tierra, se han desarrollado diferentes estudios y estrategias que buscan identificar las causas y reducir las emisiones que se originan de los sectores productivos de cada país. La Unión Europea desarrolló estrategias de captura y almacenamiento de dióxido de carbono emanado de las grandes instalaciones de combustión (Sanz Rubiales, 2013). En México, se evaluó el impacto de la energía renovable en las emisiones de GEI (Catalán Alonso, 2021). En Colombia, se propuso el uso de microorganismos anaerobios para digerir residuos de poda, para disminuir los GEI en rellenos sanitarios (Camargo V., 2015). Se estudió un modelo de cálculo de emisiones difusas de GEI

procedentes del transporte (Gutiérrez-García, 2014). Además de un sistema silvopastoriles en los bosques secos tropicales de Colombia (Raghavan, 2021).

El problema del Calentamiento Global es que es incontrolable e irreversible, por lo que también lo hace trascendental. La alta concentración de GEI en la atmosfera a provocado la expansión de los desiertos, el derretimiento del hielo polar, el aumento del nivel del mar, catástrofes climáticas y posiblemente otros efectos que desconocemos hasta el momento. Se estima que hasta el año 2050 la temperatura media de la tierra aumentará 2.5°C y 5.7°C hasta el año 2100, sino se controlan las emisiones que se generan (Echeverri Londoño, 2006). Es por eso que, es importante conocer el impacto ambiental que se ha generado en los sectores involucrados en las actividades de desarrollo económico en Colombia, con el fin de poder establecer estrategias ambientales pertinentes.

En esta Investigación, se propone analizar el impacto ambiental de las principales fuentes de emisión de GEI en Colombia durante el periodo 1990 a 2018, mediante un análisis de datos tipo panel.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. DESCRIPCIÓN DE DATOS.

El conjunto de datos de estudio corresponde a una serie temporal del BUR 3 recalculada desde 1990 – 2018. La base de datos fue solicitada a través de una publicación cerrada sobre “emisiones y calidad de aire” en la página web del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Se recibió la data por el correo institucional por parte del subdirector de estudios ambientales del IDEAM.

El conjunto de datos corresponde a la información de emisiones y adsorciones de GEI, estimadas para Colombia durante el periodo de 1990 – 2018. La base de dato original, consta de cuatro individuos generales (1. Energía, 2. Procesos Industriales y Uso de Productos, 3. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra & 4. Residuos) y muchas ramificaciones según las fuentes de emisión. Además de más de 20 variables que corresponden a los GEI reportados, incluyendo las cantidades totales de absorción, emisión y emisión neta. Las unidades de la información se expresan en Giga-gramos (Gg) de emisiones netas y emisiones en CO₂ equivalente.

2.2. PREPARACIÓN DE DATOS.

A continuación, se describen los dos momentos que hicieron posible el desarrollo de este trabajo. En un primer momento, se realizó un análisis descriptivo de la serie, donde se seleccionaron solo las variables de emisiones en Gg de CO₂ equivalentes, debido al balance químico de los gases respecto al CO₂.

En un segundo momento, se le dio un tratamiento estadístico denominado “Datos Tipo Panel” que permite el análisis de la heterogeneidad de los efectos fijos de las variables explicativas (Absorciones Totales, Emisiones Totales y Emisiones Neta) y de los efectos temporales de la serie (1990 – 2018). Para el caso de la variable “Absorciones Totales”, los valores originales eran negativos, esto era un inconveniente al momento de implementar las pruebas correspondientes. Por lo que se decidió, multiplicar por -1 todos los datos de la variable, permitiendo el desarrollo del estudio.

2.3. EXPLORACIÓN DE DATOS.

La metodología para datos de tipo panel se basó en realizar una prueba de igualdad de medias y varianzas de las variables explicativas. Estimando un modelo de efecto fijos respecto a la variable respuesta (Emisiones Netas). Posteriormente, se validaron varias pruebas del modelo (R cuadrado, Durbin – Watson, Normalidad, prueba de máxima verosimilitud los efectos fijos, la prueba de dependencia de los residuos, Heterocedasticidad). Por último, se genera un gráfico de estimación, la relación de efecto individuo/efecto tiempo y la ecuación del modelo.

3. RESULTADOS.

3.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO.

En general, la fuente de emisión de GEI que predomina durante la serie, es “Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra” con valores por encima de los 120,000 Gg de CO₂ equivalente. Dentro de este grupo podemos considerar la quema de la biomasa, aplicaciones de cal y urea en los cultivos, entre otras actividades antropogénicas emisoras de GEI. También es el único grupo que reporta datos de absorción de CO₂ equivalente (Ilustración 1). Esto se debe a la conservación de las tierras forestales, tierras de cultivos, pastizales y productos de la madera recolectada; que funcionan como sumideros de carbono, reduciendo el impacto de CO₂ en la atmosfera y a su vez produciendo oxígeno. Según el (IDEAM, 2021), durante este periodo se reporta una absorción de 23.776 Gg de CO₂ equivalente. Si ponemos atención a las ilustraciones 2 y 3, podemos notar la diferencia de la absorción de CO₂, por parte de los sumideros de carbono.

Por otro lado, en un orden de impacto ambiental, tenemos como segundo contribuyente al grupo “Energía” constituido por actividades como transporte, industria energética, quema de combustibles en industria, quemas de combustibles residencia/comercial, entre otros. En el tercer lugar tenemos el grupo “Residuos”, donde podemos encontrar actividades como incineración abierta de residuos sólidos. Por último, tenemos al grupo de “Procesos industriales y uso de productos”.

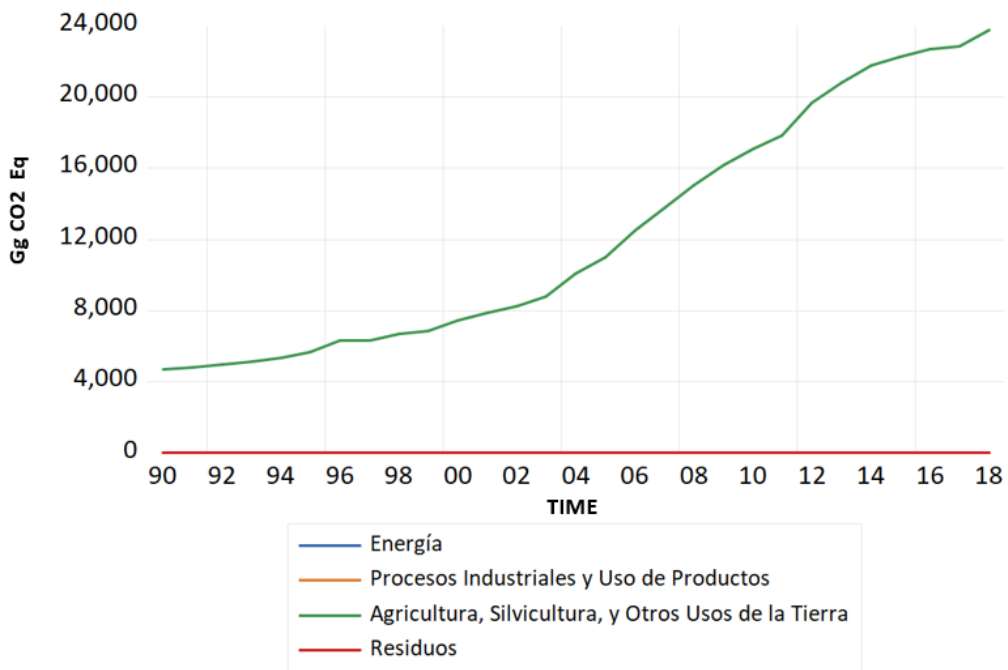


Ilustración 1: Absorción total de GEI en Colombia (en Gg de CO₂ equivalente).

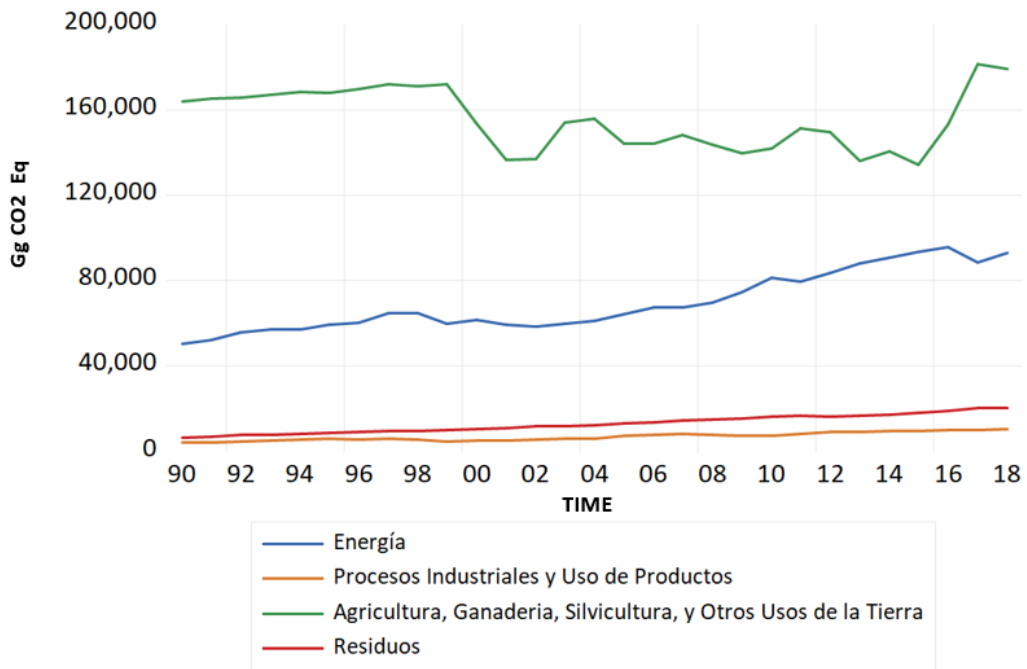


Ilustración 2: Total de Emisiones de GEI en Colombia (en Gg de CO₂ equivalente).

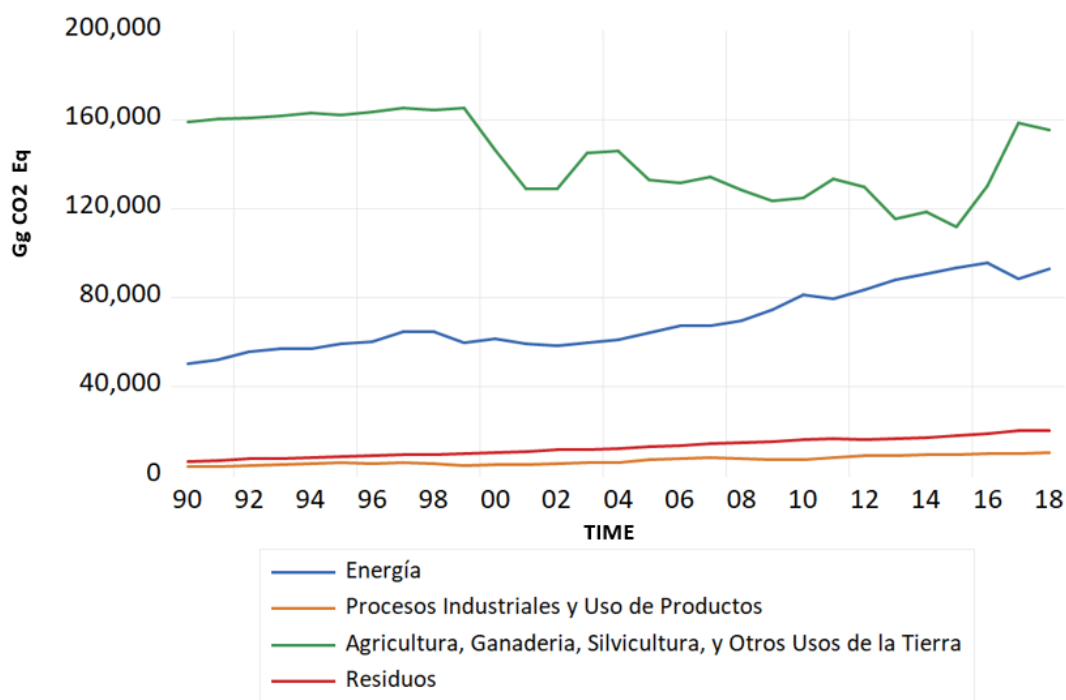


Ilustración 3: Total de Emisiones Netas de GEI en Colombia (en Gg de CO₂ equivalente).

3.2 MODELO DE PRONOSTICO.

El modelo explica el 100% de la variabilidad de los datos. El modelo se caracteriza por tener como variable dependiente (Emisiones Netas), cuenta con un panel balanceado de 29 periodos (1990 – 2018) y 116 observaciones.

Dependent Variable: EMISIONES_NETAS
 Method: Panel Least Squares
 Date: 09/03/22 Time: 10:55
 Sample: 1990 2018
 Periods included: 29
 Cross-sections included: 4
 Total panel (balanced) observations: 116

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
TOTAL_EMISIONES	1.000000	6.64E-16	1.51E+15	0.0000
ABSORCIONES_TOTALES	-1.000000	2.00E-15	-5.01E+14	0.0000
C	1.000000	4.46E-11	2.24E+10	0.0000

Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)
 Period fixed (dummy variables)

R-squared	1.000000	Mean dependent var	58199.87
Adjusted R-squared	1.000000	S.D. dependent var	56176.23
S.E. of regression	5.13E-11	Akaike info criterion	-44.31033
Sum squared resid	2.16E-19	Schwarz criterion	-43.50324
Log likelihood	2603.999	Hannan-Quinn criter.	-43.98270
F-statistic	4.18E+30	Durbin-Watson stat	0.450950
Prob(F-statistic)	0.000000		

Ilustración 4: Modelo Pronostico de emisión GEI en Colombia durante la serie 1990 – 2018.

La tabla 1 nos muestra que los test diagnósticos realizados para evaluar el modelo. La prueba de normalidad muestra que los residuales de los datos provienen de una distribución normal, además tanto los efectos fijos de los individuos y del periodo son significativo para el modelo. Por otro lado, los residuales del modelo no presentan correlación serial y por ende son transversalmente independientes y son homocedásticos.

Tabla 1: Resumen del diagnóstico del modelo

Test Diagnóstico	Resultado	Conclusión
R cuadrado	1.000	Explica el 100% de la variabilidad de los datos
Durbin – Watson	0.451	Hay problemas de correlación
Normalidad	0.987	Los residuales son Normales
Máxima verosimilitud de los efectos fijos	0.000	Significativo
Dependencia de los residuales	0.002	No hay correlación de los residuales
Heterocedasticidad	0.384	Los residuales son homocedástico

3.3 GRÁFICO DE ESTIMACIÓN Y ECUACIÓN DEL MODELO.

La ilustración 5, muestra el gráfico de estimación del modelo. En él, se puede observar que, los residuales tienen media cero y una variable constante. Además, muestra un buen ajuste del modelo a los datos actuales.

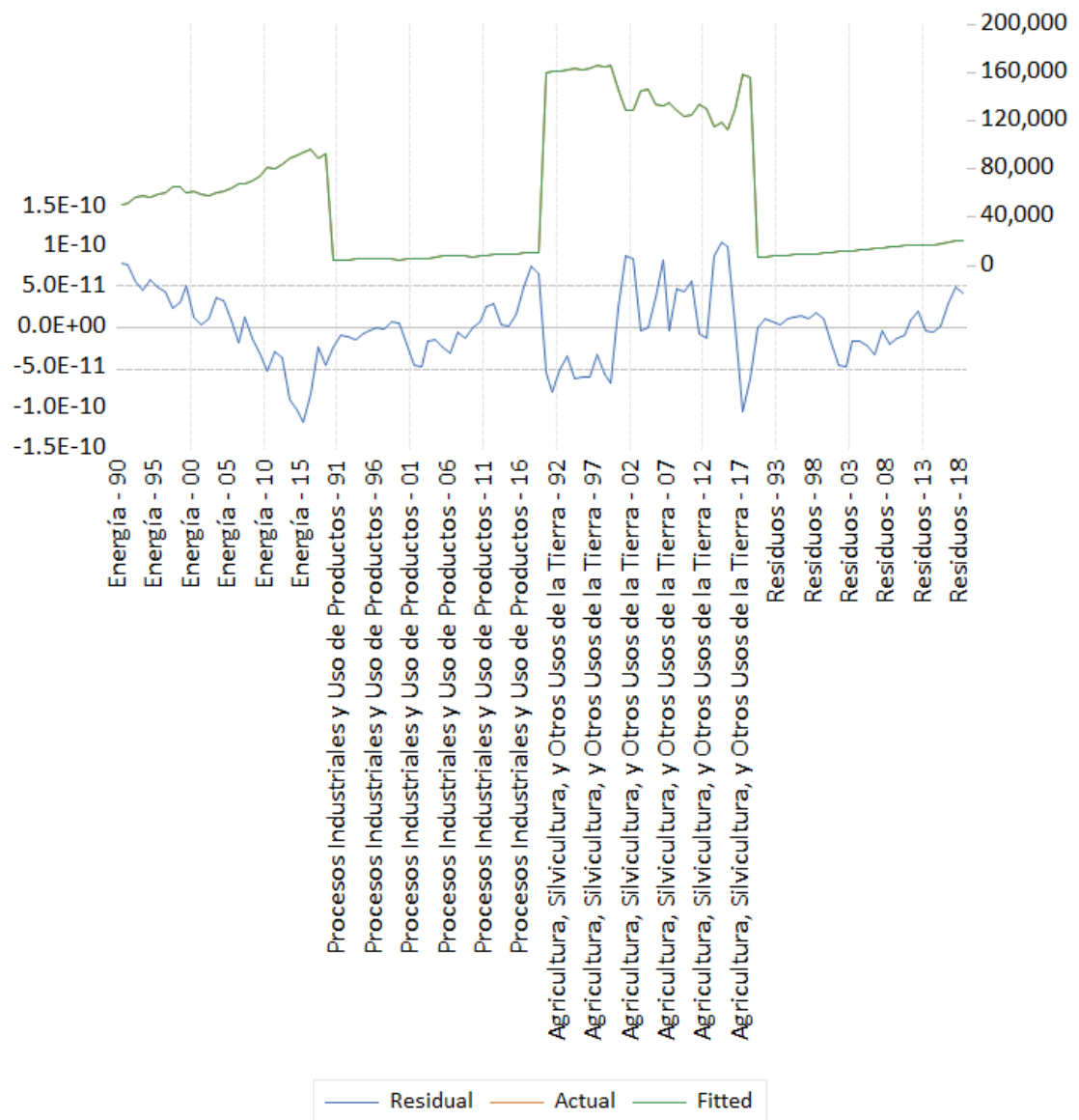


Ilustración 5: Gráfico de estimación del modelo.

A continuación, se establece la ecuación del modelo:

Emisiones Neta: 1.00 C

$$\begin{aligned} &+ 1.00 \text{ Absorciones Totales} - 1.00 \text{ Emisiones Totales} - 4.292E \\ &- 11 d1 + 3.26E - 10 d2 - 6.27E - 10 d3 + 2.91E - 10 d4 \\ &+ 2.59E - 11 (1990) + 1.41E - 11 (1991) + 1.46E - 11 (1992) \\ &+ 1.21E - 11 (1993) + 2.96E - 12 (1994) - 1.82E \\ &- 12 (1995) - 3.18E - 12 (1996) - 2.96E - 12 (1997) - 9.78E \\ &- 12 (1998) - 1.36E - 12 (1999) + 2.25E - 11 (2000) + 3.98E \\ &- 11 (2001) + 4.00E - 11 (2002) + 8.41E - 12 (2003) + 5.46E \\ &- 12 (2004) + 1.14E - 11 (2005) + 1.00E - 11 (2006) - 2.05E \\ &- 11 (2007) - 1.02E - 11 (2008) - 2.07E - 11 (2009) - 3.02E \\ &- 11 (2010) - 5.02E - 11 (2011) - 6.14E - 11 (2012) - 3.59E \\ &- 11 (2013) - 3.77E - 11 (2014) - 5.05E - 11 (2015) - 8.55E \\ &- 11 (2016) - 1.10E - 10 (2017) - 1.06E - 10 (2018) \end{aligned}$$

La ecuación del modelo se relaciona con la variable dependiente (Emisiones Netas). La cual hace referencia al balance entre absorciones totales menos emisiones totales.

En la ecuación, se relaciona:

- El valor del coeficiente de la constante (C).
- El valor de coeficientes de los individuos (Absorciones Totales y Emisiones Totales).
- Los valores de los efectos individuos (d1 = Energía, d2 = Procesos Industriales y Usos de Productos, d3 = Agricultura, Ganadería, Silvicultura y otros usos de la tierra & d4 = Residuos).
- Los valores de los efectos tiempo (comprendido desde 1990 – 2018).

4. CONCLUSIONES.

- El análisis descriptivo de la serie temporal nos muestra el alcance y la evolución del impacto ambiental causado por las fuentes de emisión de GEI en Colombia durante el periodo de 1990 – 2018. Donde se observa qué, la principal fuente de emisión de GEI en Colombia corresponde a las actividades relacionadas con la agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra.
- Se evidencia la importancia de la preservación de los ecosistemas forestales (como sumideros de carbono en la absorción CO₂) como una estrategia en la disminución del impacto ambiental que avala el calentamiento global.
- El modelo propuesto superó las pruebas habituales que se realizan en el proceso diagnóstico.

Bibliografía

- Camargo V., M. A. (2015). Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *Energética*, 29 - 36.
- Catalán Alonso, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Revista Latinoamericana de Economía*, 59-83.
- Cuevas Tello, A. B. (2011). Factores que influyen en la emisión de gases de efecto invernadero en China: aumento de la población y crecimiento económico, 1980-2009. . *México y la Cuenca del Pacífico*, 37-65.
- Echeverri Londoño, C. A. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería, (Córdoba, Colombia). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 85-96.
- Gutiérrez-García, M. Á.-M.-D.-S. (2014). Modelo de cálculo de las emisiones difusas de gases de efecto invernadero procedentes del transporte. Análisis según variables de diseño urbanísticos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 200 - 213.
- Hernández, G. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia. *El Trimestre Económico* , 523-550. doi:0041-3011
- IDEAM. (2021). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Cambio Climático de Colombia*. Bogotá. doi:2805-8232
- Martínez Ramírez, E. C. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 14 - 18.
- Martínez-Prado, M. (2016). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 575-601.
- Raghavan, B. &.-S.-R.-A.-P. (2021). Sistemas silvopastoriles: mitigación de gases de efecto invernadero, bosque seco tropical - Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 901 - 919.
- Sanz Rubiales, Í. (2013). La captura y almacenamiento de carbono: una novedosa técnica de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero regulada por la Unión Europea. . *Derecho PUCP*, 165-186.
- Vázquez González, L. B. (2013). Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector agropecuario en Baja California. *Sociedad y Ambiente*, 98-116.