

# Impacto Ambiental de las Principales Fuentes de Emisión GET en Colombia entre 1990 - 2018, Mediante un Análisis de Datos Tipo Panel

Juan Camilo Guerra Garces<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria Los Libertadores

\*Autor de correspondencia: [jcguerrag@libertadores.edu.co](mailto:jcguerrag@libertadores.edu.co)



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 clave:** Calentamiento Global, Gases de Efecto Invernadero (GEI), Series de Tiempo, Datos Panel, CO<sub>2</sub> - Equivalente.

## Como citar este artículo

Guerra-Garces, J., "Impacto Ambiental de las Principales Fuentes de Emisión GET en Colombia entre 1990 - 2018, Mediante un Análisis de Datos Tipo Panel", *Revista Apuntes de Ciencia e Ingeniería*, 1, 2, nov, pag 35-42. 2023. doi: [10.37511/apuntesci.v1n2a4](https://doi.org/10.37511/apuntesci.v1n2a4)

Recibido: 18 de octubre de 2022

Aceptado: 10 de febrero de 2023

Publicado: 24 de noviembre de 2023



Copyright: ©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de Creative Commons Licencia de atribución (CC BY NC SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## 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 ( $CO_2$ ), son los principales responsables del calentamiento global, estas emisiones proceden fundamentalmente del sector energético y de la producción de combustibles fósiles. El metano ( $CH_4$ ), es el segundo gas en orden de importancia tras el  $CO_2$ , y sus principales fuentes de emisión son la agricultura, los residuos y la energía. El óxido nitroso ( $N_2O$ ), 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 ( $SF_6$ ), 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  $CO_2$  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 302.974Gg  $CO_2$  Equivalente, lo cual equivale a 302.974.000 Ton de  $CO_2$  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  $2.5^{\circ}C$  y  $5.7^{\circ}C$  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 los 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  $CO_2$  equivalente.

## 2.2. Preparación de los 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  $CO_2$  equivalentes, debido al balance químico de los gases respecto al  $CO_2$ .

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 los 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

A lo largo de la serie temporal analizada, se destaca que la principal fuente de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) es el sector de “Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra”. Este sector emite cantidades superiores a los 120000Gg de  $CO_2$  equivalente. Dentro de las actividades que contribuyen a estas emisiones en este grupo, se encuentran prácticas como la quema de biomasa, la aplicación de cal y urea en cultivos, así como otras acciones humanas que liberan GEI al ambiente.

Sin embargo, es esencial destacar que este mismo grupo también juega un papel crucial en la absorción de  $CO_2$  equivalente, siendo el único que reporta datos en este sentido, como se ilustra en la Figura 1. Esta capacidad de absorción se atribuye a prácticas de conservación en tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales y la recolección de productos de madera. Estas áreas actúan como sumideros de carbono, mitigando el impacto del  $CO_2$  en la atmósfera y, simultáneamente, generando oxígeno. Según el informe del IDEAM de 2021, durante el periodo estudiado, se registró una absorción de 23.776Gg de  $CO_2$  equivalente. Al examinar las Figuras 2 y 3, es evidente la contribución significativa de estos sumideros de carbono en la absorción de  $CO_2$ .

En cuanto a otros sectores con impacto ambiental, el grupo “Energía” se posiciona como el segundo mayor emisor de GEI. Este grupo engloba actividades variadas, como el transporte, la industria energética, la quema de combustibles en la industria y la quema de combustibles en ámbitos residenciales y comerciales. El tercer lugar en términos de emisiones lo ocupa el grupo “Residuos”, que incluye prácticas



como la incineración abierta de residuos sólidos, una fuente significativa de GEI.

Finalmente, el grupo “Procesos industriales y uso de productos” cierra la lista. Aunque sus emisiones son menores en comparación con los grupos anteriores, sigue siendo relevante en el análisis global de las fuentes de GEI. Es esencial considerar todas estas fuentes y sus respectivas contribuciones para diseñar estrategias efectivas de mitigación y adaptación al cambio climático.

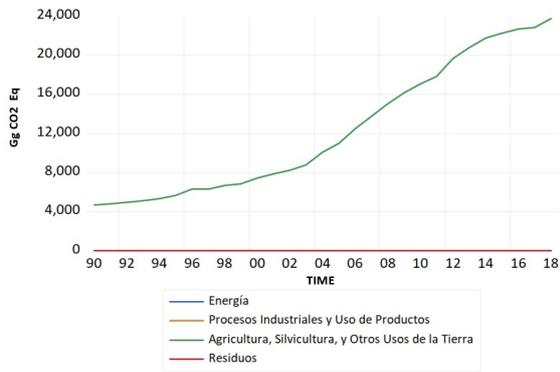


Figura 1: Absorción total de GEI en Colombia (en Gg de CO<sub>2</sub> equivalente).

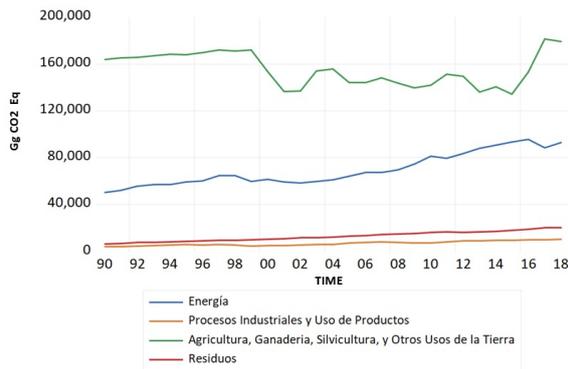


Figura 2: Total de Emisiones de GEI en Colombia (en Gg de CO<sub>2</sub> equivalente).

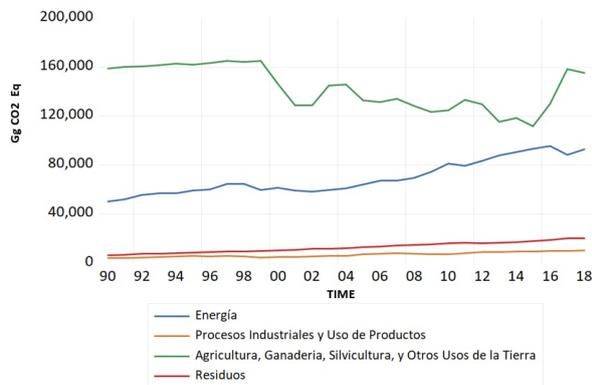


Figura 3: Total de Emisiones Netas de GEI en Colombia (en Gg de CO<sub>2</sub> equivalente).



### 3.2. Modelo de pronóstico

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 |                       |           |

Figura 4: Modelo Pronóstico 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.

| 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                |

Tabla 1: Resumen del diagnóstico del modelo



### 3.3. Gráficos de estimación y ecuación del modelo

La Figura 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.

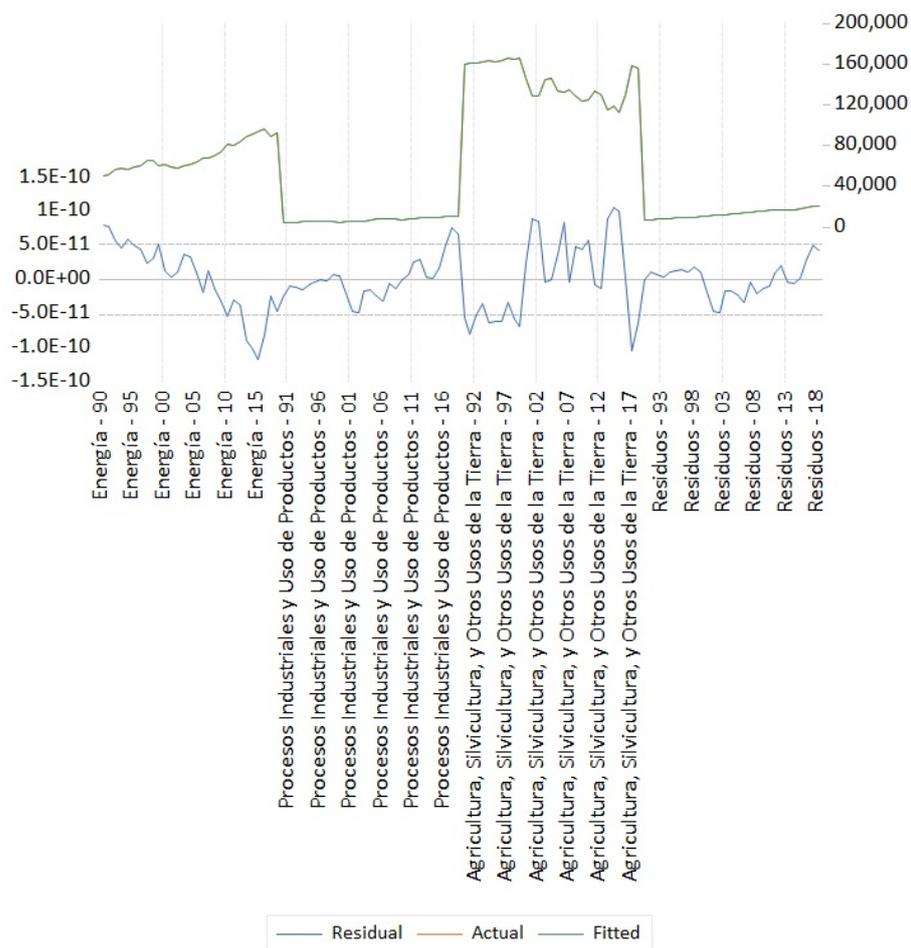


Figura 5: Gráfico de estimación del modelo.

A continuación, se establece la ecuación del modelo:

$$\begin{aligned}
 \text{EmisionesNetas} : & 1,00C + 1,00\text{AbsorcionesTotales} - 1,00\text{EmisionesTotales} - 4,292E - 11d1 + 3,26E - 10d2 - \\
 & 6,27E - 10d3 + 2,91E - 10d4 + 2,59E - 11(1990) + 1,41E - 11(1991) + 1,46E - 11(1992) + 1,21E - 11(1993) + \\
 & 2,96E - 12(1994) - 1,82E - 12(1995) - 3,18E - 12(1996) - 2,96E - 12(1997) - 9,78E - 12(1998) - 1,36E - \\
 & 12(1999) + 2,25E - 11(2000) + 3,98E - 11(2001) + 4,00E - 11(2002) + 8,41E - 12(2003) + 5,46E - 12(2004) + \\
 & 1,14E - 11(2005) + 1,00E - 11(2006) - 2,05E - 11(2007) - 1,02E - 11(2008) - 2,07E - 11(2009) - 3,02E - \\
 & 11(2010) - 5,02E - 11(2011) - 6,14E - 11(2012) - 3,59E - 11(2013) - 3,77E - 11(2014) - 5,05E - 11(2015) - \\
 & 8,55E - 11(2016) - 1,10E - 10(2017) - 1,06E - 10(2018)
 \end{aligned}$$

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 individuales (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 que, 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 CO<sub>2</sub>) 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.

#### Referencias

- [1] Alberto, C. and Echeverri Londoño, C. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de montería (córdoba, colombia). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5.
- [2] Anz Rubiales, I. (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*, ISSN: 0251-3420, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=533656139010>.
- [3] Bur3 (2021). Tercer informe bienal de actualización de cambio climático de colombia. Online, <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>.
- [4] Catalán, H. (2020). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en méxico. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 52(204), DOI: 10.22201/iiiec.20078951e.2021.204.69611, <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2021.204.69611>.
- [5] Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Raghavan, B., López-Rebolledo, L., and Garrido-Pineda, J. (2021). Sistemas silvopastoriles: mitigación de gases de efecto invernadero, bosque seco tropical - colombia. *Agronomía Mesoamericana*, pages 901-919, DOI: 10.15517/am.v32i3.43313, <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43313>.
- [6] 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*, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=433747500003>.
- [7] Hernández, G. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en colombia. *El Trimestre Económico*, 88:523-550, DOI: 10.20430/ete.v88i350.857.
- [8] Maqueda González, M. R. C. P. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, ISSN: 1692-9918, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231117588003>.
- [9] Martínez-Prado, M. (2016). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero para el estado de durango, méxico". *Revista mexicana de ingeniería química*, 15:575-601.
- [10] Muñoz Meléndez, G. and González, L. (2013). Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector agropecuario en baja california. *Sociedad y Ambiente*, pages 98-115, DOI: 10.31840/sya.v0i2.17.



- [11] Toro, J. C. S., , Moreno, J. P. M., Zuluaga, B. H. A., and and (2017). Evaluación de la digestión y co-digestión anaerobia de residuos de comida y de poda en bioreactores a escala laboratorio. *Revista ION*, 30(1):105–116, DOI: [10.18273/revion.v30n1-2017008](https://doi.org/10.18273/revion.v30n1-2017008), <https://doi.org/10.18273/revion.v30n1-2017008>.
- [12] Zubelzu-Mínguez, S., López Díaz, A. I., Gutiérrez, M. A., and Blanco-Silva, F. (2014). Modelo de cálculo de las emisiones difusas de gases de efecto invernadero procedentes del transporte. análisis según variables de diseño urbanístico. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, pages 200–213.

