



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional ([victor.beita.guerrero@una.ac.cr](mailto:victor.beita.guerrero@una.ac.cr))



Investigadora, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional ([carolina.balma.montero@una.cr](mailto:carolina.balma.montero@una.cr))



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional ([jorge.herrera.murillo@una.ac.cr](mailto:jorge.herrera.murillo@una.ac.cr))

## Desarrollo de factores de emisión de gases efecto invernadero para el mejoramiento de la métrica en Costa Rica

Víctor Hugo Beita Guerrero  
Carolina Balma Montero  
Jorge Herrera Murillo



La concentración global de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha alcanzado valores preocupantes en años recientes. De acuerdo con datos publicados por la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* de los Estados Unidos, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ascendió hasta 414.34 ppmv al 20 de marzo de 2020 (NOAA, 2020). Durante el año 2018, según el promedio global calculado a partir de observaciones *in-situ* en estaciones meteorológicas de la red de Vigilancia de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el metano atmosférico, responsable en este momento del 17 % del forzamiento radiativo, alcanzó un nuevo máximo de (1 869 ± 2) ppbv, segundo nivel más alto en la última década, mientras el óxido nitroso presentó un promedio que alcanzó los (331.1 ± 0.1) ppbv, el cual está 1.2 ppbv por encima de lo reportado en el 2017 (OMM, 2019).

Actualmente, China es el mayor emisor de CO<sub>2</sub> del mundo, con una cuarta parte de las emisiones (23 %), seguido por los Estados Unidos (15 %); UE-28 (10 %); India (7 %); y Rusia (5 %) (Ritchie & Roser, 2020). De estas emisiones,

el consumo de energía es la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, responsable del 73 % en todo el mundo. En este sector se incluye el transporte (7.9 GtCO<sub>2</sub>e en el 2016, 15 % de las emisiones totales), electricidad y calor (15 GtCO<sub>2</sub>e en el 2016, el 30 % de las emisiones totales), edificios, fabricación y construcción (6.1 GtCO<sub>2</sub>e, el 12 % de las emisiones totales), emisiones fugitivas y otra combustión de combustible (Ge & Friedrich, 2020).

Los otros sectores principales que producen emisiones a nivel mundial son la agricultura y ganadería (12 %); uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (6.5 %); procesos industriales de productos químicos, cemento y más (5.6 %); y los residuos, incluidos los vertederos y las aguas residuales (3.2 %) (Ge & Friedrich, 2020). La quema de biomasa

también constituye una fuente importante, con un aporte de alrededor del 18% de las emisiones globales totales (Tripathi, Hills, Singh, & Singh, 2020).

En Costa Rica, de acuerdo con el último inventario de GEI realizado en el país en el 2012, la distribución de las emisiones de GEI expresadas como CO<sub>2eq</sub> y en unidades de giga gramos-año (Ggaño<sup>-1</sup>), se encuentran lideradas por el sector transporte, el cual representa el 39 % de las emisiones totales, seguido de la fermentación estérica y manejo de estiércol, el cual representa un 17 % de las emisiones, y en tercero y cuarto lugar el manejo de residuos sólidos y la industria manufacturera y de la construcción, los cuales representan el 10 % y el 9 % de las emisiones totales respectivamente, tal y como se logra apreciar en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Porcentaje de contribución de las emisiones de gases efecto invernadero por tipo de fuente en Costa Rica, año base 2012. Fuente: Elaboración con base en datos de [Chacón et al. \(2012\)](#).

Ante este escenario, Costa Rica ha propuesto mediante el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, tres metas de reducción orientadas a la fuente de mayor generación de GEI en el país, el transporte, el cual es el responsable de alrededor del 68.7 % de las emisiones del sector energético nacional ([Chacón et al., 2012](#)). Estas metas pretenden que para el 2050, el 100 % de autobuses y taxis sean cero emisiones ([Gobierno de Costa Rica, 2019](#)), incentivando al mismo tiempo la toma de decisiones para las demás fuentes emisoras.

Para el establecimiento apropiado de medidas de mitigación, compensación y reducción de las emisiones de GEI —tanto a nivel organizacional como a nivel país— es imperativo contar con una estimación que permita conocer con cierto nivel de confianza, la cantidad de GEI que son emitidos en un período de tiempo. Estas estimaciones cuantitativas se logran a través de herramientas como los son los inventarios de gases efecto invernadero, por medio de los cuales se establecen límites físicos y operativos, definiendo de esta manera el alcance a partir del cual se identifican y clasifican las principales fuentes emisoras, para posteriormente, cuantificar las emisiones y a partir de los resultados, definir los distintos planes de

acción ([Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente, 2017](#)).

A nivel nacional, el gobierno ha desarrollado el Programa País sobre Carbono Neutralidad, en el cual se establecen una guía organizacional y otra cantonal de la metodología para el cálculo de emisiones de GEI. La directriz de este Programa es utilizar los factores de emisión (FE) del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en su versión vigente como primera opción para el cálculo de las emisiones. De no contar este documento con un FE para una determinada fuente, se debe consultar como segunda opción los FE establecidos en las guías metodológicas del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). Como tercera fuente, es posible consultar bibliografía confiable y con respaldo científico. Los FE obtenidos de esta tercera fuente provienen de cálculos realizados a partir de datos del IPCC para diferentes regiones del mundo, lo que se conocen como valores por defecto. Estos provienen de estadísticas nacionales o internacionales disponibles y deben ser viables para todos los países, aunque en ocasiones podrían estar subestimando o sobreestimando las emisiones, dadas las circunstancias particulares en cada caso.

Puesto que el valor específico de una región determinada debe ser más aplicable a la situación de ese lugar, se espera que el rango de incertidumbre asociado con el valor específico de un país sea más pequeño que el rango de incertidumbre del factor de emisión por defecto (IPCC,

2006). Es decir, si se utilizan FE extraídos de publicaciones o bajo condiciones diferentes a las reales, es de esperar que se obtengan incertidumbres bastante altas, las cuales caracterizan de manera indirecta las posibles desviaciones respecto a la realidad local, sea esta organizacional, cantonal, provincial o incluso a nivel país.

Es así como el Laboratorio de Análisis Ambiental en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (LAA-UNA), se ha interesado en proponer y apoyar estudios orientados al mejoramiento de la métrica, a través de proyectos de investigación o servicios por medio de los cuales es posible cuantificar de manera específica las emisiones en la fuente, otorgando una posibilidad para la creación de factores de emisión en distintas fuentes generadoras. Entre algunos de los principales sectores estudiados se encuentran los embalses hidroeléctricos, los cultivos de piña, repollo, papa, arroz, café y caña de azúcar, así como sistemas de compostaje de broza de café y residuos orgánicos, gasificación de broza de café y emisiones provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales asociadas al proceso de beneficiado de café.

A partir de los distintos estudios en los que ha participado el LAA-UNA, se han podido levantar una serie de factores de emisión específicos para ciertas actividades, dentro de los cuales se pueden destacar los que se muestran el **Cuadro 1**. Si bien es cierto, dichos factores de emisión no pueden ser considerados como FE

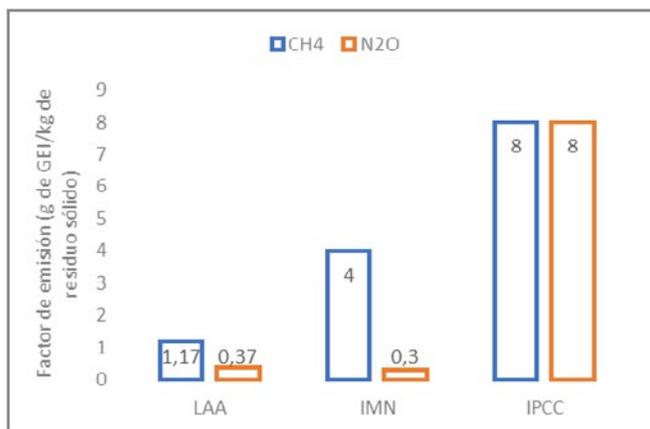
de cobertura nacional, puesto que están generados para características de zonas en particular, se convierten en un primer paso de suma importancia hacia el mejoramiento de la métrica a nivel país.

Si se comparan algunos de los FE de GEI obtenidos, se puede observar que existen diferencias entre los valores derivados de mediciones en campo realizadas por el LAA-UNA y los que se deben utilizar según las directrices (factores por defecto). En el caso del cultivo de papa se pudo realizar únicamente la comparación con el óxido nitroso, ya que ni el IMN ni el IPCC reportan datos de FE asociados a este cultivo. En la **Figura 2**, se puede apreciar que el IMN reporta un factor de 7.86 kg-N<sub>2</sub>O/ha-año, representando un incremento de alrededor de un 118 % con respecto al FE obtenido a partir de mediciones en la fuente, lo que significa un aumento en términos absolutos de 4.25 kg-N<sub>2</sub>O/ha-año. Así mismo, si se compara el FE por defecto del IPCC con el obtenido experimentalmente, se puede notar que el primero (IPCC) tan solo representa un 2.18 % del factor obtenido a partir de mediciones en la fuente, lo que significaría una disminución absoluta de 3.53 kg-N<sub>2</sub>O/ha-año.

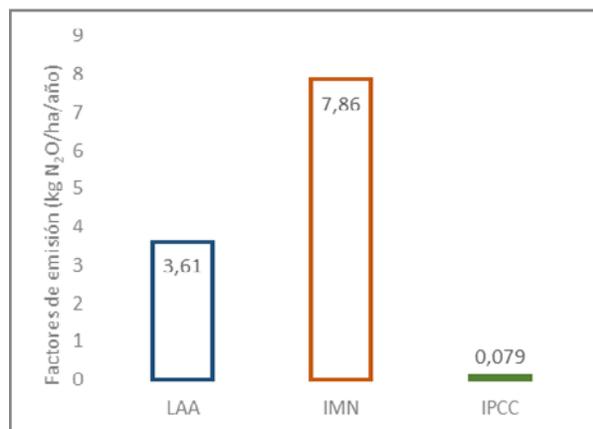
Por otra parte, en la **Figura 3** se muestra una comparación de los FE de metano y óxido nitroso derivados del proceso de compostaje de la pulpa de café, resultados que fueron obtenidos a partir de los valores promedio para un total de diez beneficios a lo largo del país, los cuales fueron muestreados por un periodo

continuo de tres meses. Los resultados muestran que el factor de emisión de metano obtenido experimentalmente representa una disminución cercana al 29.2 % con respecto al valor por defecto del IMN y una reducción de alrededor del 85.4 % con respecto al IPCC. Para el caso específico del óxido nitroso, el FE experimental representó un incremento de alrededor de un 23 % con respecto al valor por defecto

establecido por el IMN, y a su vez, representó una disminución significativa en relación con el valor reportado por la IPCC; cerca de un 95.4 % más bajo. Es importante destacar que los FE reportados tanto por el IMN como por el IPCC, corresponden a valores para compostaje de residuos sólidos en general, no específicamente para pulpa de café.



**Figura 2.** Comparación de los factores de emisión de óxido nitroso obtenidos por el Laboratorio de Análisis Ambiental para el cultivo de papa con respecto a los establecidos por el IMN y el IPCC.



**Figura 3.** Comparación de los factores de emisión de metano y óxido nitroso obtenidos por el Laboratorio de Análisis Ambiental en compostaje de pulpa de café con respecto a los establecidos por el IMN y el IPCC.

**Cuadro 1.** Factores de emisión de gases efecto invernadero a partir de valores promedio de mediciones en la fuente, realizadas por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional entre los años 2011 y 2018.

Sector	Subsector	Características	Variables	Región	Factores de emisión								
					CO2	Unidades	Error estándar	CH4	Unidades	Error estándar	N2O	Unidades	Error Estándar
Sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	Suelos agrícolas	Cultivo de piña	Valor a partir del muestreo en 12 puntos en un área aproximada de 5.86 ha en un ciclo de producción de aproximadamente 584 días.	Huetar Norte	6 922 ± 949	kg-CO <sub>2</sub> eq/ha-cc*	1.34	155 ± 78	kg-CH <sub>4</sub> /ha-cc*	0.16	73 ± 13	kg-N <sub>2</sub> O/ha-cc*	0.02
		Cultivo de papa	Valor a partir del muestreo en 6 puntos en un área aproximada de 0.07 ha en un ciclo de operación de 75 días.	Central Occidental	602 ± 95	kg-CO <sub>2</sub> eq/ha-cc*	0.98	3.61 ± 0.54	kg-CH <sub>4</sub> /ha-cc*	0.01	3.61 ± 0.47	kg-N <sub>2</sub> O/ha-cc*	0.003
		Cultivo de repollo	Valor a partir del muestreo en 12 puntos en un área aproximada de 0.14 ha en un ciclo de producción de aproximadamente 96 días.	Central Occidental	1 983 ± 293	kg-CO <sub>2</sub> eq/ha-cc*	2.24	10.6 ± 3.0	kg-CH <sub>4</sub> /ha-cc*	0.03	3.84 ± 0.44	kg-N <sub>2</sub> O/ha-cc*	0.002
Residuos	Residuos sólidos	Compostaje de pulpa de café	Aplicación de la técnica de volteo como proceso para la elaboración del compostaje. Beneficios de baja y media zona productiva, con un procesamiento promedio entre 43 603 a 139 782 fanegas por cosecha.	Región cafetalera de Turrialba. Central Occidental y Brunca.	87 ± 411	g-CO <sub>2</sub> /kg-pulpa	516	501 ± 139	g-CH <sub>4</sub> /kg-pulpa	168	240 ± 133	g-N <sub>2</sub> O/kg-pulpa	342
		Compostaje de pulpa de café	Beneficios que no utilizan la técnica de volteo como proceso para la elaboración del compostaje. Beneficios de media y alta zona productiva, con un procesamiento promedio entre 271 a 252 199 fanegas.	Pertenecen a la región cafetalera de Orosí, Tarrazú y Central Occidental.	97 ± 109	g-CO <sub>2</sub> /kg-pulpa	137	571 ± 273	g-CH <sub>4</sub> /kg-pulpa	980	56 ± 52	g-N <sub>2</sub> O/kg-pulpa	171
		Compostaje de residuos	Compostaje de residuos orgánicos	Noreste del cantón de Heredia.	132 ± 1 360.10	g-CO <sub>2</sub> /kg-pulpa	17	1.26 ± 13.67	g-CH <sub>4</sub> /kg-pulpa	0.23	-	-	-
	Aguas residuales industriales	Lagunas anaerobias	Aguas residuales en diferentes épocas de cosecha (inicial, óptimo y final). Beneficios con consumo de agua por fanega procesada aproximado de 0.14 a 0.39 m <sup>3</sup> .	Región cafetalera de Turrialba, Brunca y Central Occidental.	0.92 ± 0.11	kg-CO <sub>2</sub> /ff	0.41	0.66 ± 0.07	kg-CH <sub>4</sub> /ff	0.25	14.80 ± 1.20	mg-N <sub>2</sub> O/ff	4.46
		Reactores anaerobios	Aguas residuales en diferentes épocas de cosecha (inicial, óptimo y final). Beneficios con consumo de agua por fanega procesada aproximado de 0.075 a 0.29 m <sup>3</sup> .	Región cafetalera del Valle Central Occidental.	18.50 ± 2.80	kg-CO <sub>2</sub> /ff	2.50	17.00 ± 2.20	kg-CH <sub>4</sub> /ff	4.00	1 373 ± 216	mg-N <sub>2</sub> O/ff	1 005.50
		Aspersión sobre pasto estrella	Aguas residuales en diferentes épocas de cosecha (inicial, óptimo y final). Beneficios con consumo de agua por fanega procesada aproximado de 0.0045 a 0.39 m <sup>3</sup> .	Región cafetalera Brunca, Tarrazú, Valle Central y Valle Central Occidental.	0.75 ± 0.10	kg-CO <sub>2</sub> /ff	0.14	0.10 ± 0.02	kg-CH <sub>4</sub> /ff	0.05	1 078 ± 224	mg-N <sub>2</sub> O/ff	3 961

Sector	Subsector	Características	Variables	Región	Factores de emisión								
					CO <sub>2</sub>	Unidades	Error estándar	CH <sub>4</sub>	Unidades	Error estándar	N <sub>2</sub> O	Unidades	Error Estándar
Procesos industriales	Fuentes fijas: Calderas	Tipo A	Combustible búnker	Valle Central	2.93 ± 0.99	kg-CO <sub>2</sub> /L combustible	0.47	2.01± 0.76	mg-CH <sub>4</sub> /L combustible	0.32	4.15 ± 1.48	mg-N <sub>2</sub> O/L combustible	1.00
		Tipo B	Combustible búnker	Valle Central	2.82 ± 1.51	kg-CO <sub>2</sub> /L combustible	0.46	4.04± 1.79	mg-CH <sub>4</sub> /L combustible	0.64	34.23 ± 13.70	mg-N <sub>2</sub> O/L combustible	6.96
		Tipo C	Combustible búnker	Valle Central	1.73 ± 0.64	kg-CO <sub>2</sub> /L combustible	0.91	5.59± 0.54	mg-CH <sub>4</sub> /L combustible	3.72	19.64 ± 23.36	mg-N <sub>2</sub> O/L combustible	9.26

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono; CH<sub>4</sub>: Metano; N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso; ha: Hectárea (10 000 m<sup>2</sup>); cc: ciclo de cultivo; eq: equivalente; ff: fanega procesada.

<sup>A</sup> Nota: <sup>1</sup> Para la utilización de los factores de emisión presentados en este artículo se deben considerar las características y variables reportadas en este cuadro, los cuales son datos generados bajo condiciones específicas en lugares determinados, así como las unidades asociadas al dato. <sup>2</sup> Los FE de cultivos no incluyen la influencia del factor de temporalidad, pues las muestras fueron tomadas en un momento determinado del año. <sup>3</sup> Los FE de compostaje de pulpa de café se obtiene del muestreo de diez Beneficios que representan en términos productivos el 60 % a nivel nacional. <sup>4</sup> Los factores de emisión de calderas se dividen con respecto a la clasificación en categorías establecidas en el reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto N° 36551-S-MINAET-MTSS.

<sup>B</sup> Nota: <sup>1</sup> Para el desarrollo de los factores de emisión del sector cafetalero se contó con el apoyo y financiamiento de Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible y el Instituto Nacional del Café de Costa Rica (ICAFFE).

Fuente: Elaboración con base en datos obtenidos en investigaciones realizadas en el LAA-UNA (Balma, 2018; Fuentes, 2019; Hernández, Beita Guerrero, Rojas Marín, Herrera Murillo, & Morera Campos, 2017).

A modo de ejemplificar algunas de las principales diferencias encontradas, se realizó una comparación de los FE obtenidos experimentalmente por el LAA-UNA para calderas tipo A, B y C que utilizan búnker como combustible, con respecto a los FE calculados a partir de los valores por defecto establecidos por el IMN. En la **Figura 4A** se puede observar que las calderas tipo C fueron las que presentaron una mayor diferencia, registrándose una disminución 4.83 kg-CO<sub>2</sub>/L de

combustible cuando se comparan los factores de emisión obtenidos experimentalmente contra los calculados a partir de los valores por defecto (IMN), representando una disminución del 64 %.

En relación con el metano y el óxido nitroso las diferencias mostraron una mayor variabilidad tal y como se aprecia en las Figuras 4B y 4C. El factor de emisión de metano obtenido experimentalmente registró una disminución de entre 0.136 y 0.132 g-CH<sub>4</sub>/L de combustible, lo

que representa un descenso de entre un 95.4 % y un 98.5 % con respecto al FE calculado a partir de los valores por defecto. Por otra parte, el FE experimental de óxido nitroso obtenido para las calderas tipo A fue el que mostró una mayor diferencia en relación con el calculado a partir de los factores del IMN, registrándose una reducción de 0.023 g-CH<sub>4</sub>/L de combustible lo que representa una disminución de alrededor de un 85 %.

Nótese que el factor del IMN utilizado corresponde a la categoría de manufactura y construcción para el combustible búnker, dato generado a partir de factores por defecto del IPCC y el volumen de densidad reportado por RECOPE en su manual para los diferentes tipos de combustible (K. Blanco; comunicación personal; 16 de abril, 2014). No existe un dato por tipo de categoría de caldera y actividad.<sup>1</sup>

En función de los resultados obtenidos y del análisis descrito, queda clara la relevancia de crear factores de emisión propios por medio de mediciones en la fuente, en aras de mejorar la métrica y de generar inventarios de mayor calidad y más acordes con la realidad organizacional y nacional. Nótese que los datos de actividad son muy diversos y están estrechamente relacionados con el sector que se está evaluando, convirtiéndose en datos fundamentales para el diseño de los FE, pues son estos —factores de actividad— los que facilitan o dificultan

su utilización final. Por tanto, el mejoramiento de la métrica contribuye a que las organizaciones interesadas en cuantificar sus emisiones cuenten con datos cercanos a su realidad, permitiendo toma de decisiones más seguras, evitando o minimizando los riesgos que implican una incorrecta cuantificación.



**Figura 4.** A) Factores de emisión de dióxido de carbono, B) Factores de emisión de metano y C) Factores de emisión del óxido nitroso; obtenidos todos por el LAA-UNA de datos promedio para una caldera tipo A, B y C respectivamente, que utilizan como combustible el búnker en comparación al factor de emisión establecido por el IMN.

<sup>1</sup> Blanco, K. (2020). Factor de emisión asociado a calderas (comunicación personal). Instituto Meteorológico Nacional, Universidad Nacional.

El país debe realizar esfuerzos no solo por contar con factores de emisión propios, sino también, que factores brinden un alto grado de confianza, lo cual se logra a través de la estimación de la incertidumbre de los inventarios; esto implica contar con una incertidumbre para los factores de emisión. En ocasiones, las incertidumbres pueden incluso superar el 60 % de error, situación indeseable no solo por la deficiente estimación, sino también porque los planes de reducción, mitigación o compensación podrían estar por debajo de los errores reportados. Utilizar factores propios, creados a partir de mediciones en la fuente, permite reducir las incertidumbres de los inventarios en casi un 50 % o más (USEPA, 2020), reduciendo los riesgos de subestimaciones o sobreestimaciones y así contribuir a una correcta toma de decisiones y posterior evaluación de las medidas adoptadas.

Según la guía del IPCC (2006), el cálculo de la incertidumbre se encuentra en función de las características del instrumento utilizado para la medición, la calibración y la frecuencia de muestreo de las mediciones directas, o bien (lo cual es más frecuente), una combinación de las incertidumbres en los factores de emisión para ciertas fuentes típicas y los correspondientes datos de actividad. El IPCC también recomienda que después de establecer una distribución de probabilidad, se debe para datos Nivel 1 (datos con nivel básico de complejidad), emplear incertidumbre por categorías usando la ecuación de propagación de errores y para

datos Nivel 2 (datos con nivel intermedio de complejidad), usar análisis de Montecarlo (IPCC, 2006). No obstante, para las características de la información que se maneja a nivel nacional, muchas de los datos utilizados no cuentan con una incertidumbre asociada y por ende dificulta la utilización de estas metodologías.

Según el Programa País Carbono Neutralidad, la evaluación de la calidad de los datos se realiza a partir de una calificación cualitativa que deben dar las diferentes instancias dependiendo de la fuente en la que se obtuvieron los datos, clasificación que se define como alta, media o baja dependiendo de sus características específicas (Gobierno de Costa Rica, 2018) y (Rodríguez, 2018). Esto sugiere la interrogante de si una calificación cualitativa es suficiente para poder manifestar que se ha llegado a la *carbono neutralidad*, cuando numéricamente no se está midiendo qué tan veraces son los resultados. De igual forma, esta técnica no brinda seguridad a las organizaciones al momento de definir estrategias de reducción, ya que los cálculos podrían estar sobreestimados o subestimados.

Si bien la cuantificación de emisiones de GEI a nivel nacional en este momento forma parte de iniciativas voluntarias a nivel organizacional y regional y no es una obligación legal, los retos indicados en este artículo apuntan que para poder mejorar la métrica y poder lograr las metas país en cuanto a la reducción de las emisiones y el compromiso con la *carbono neutralidad* para el 2050, se

deberán promover las mediciones *in situ* (en la fuente) para cada sector productivo, generando así datos específicos por actividad con un adecuado nivel de confianza, expresado a través de una incertidumbre cuantitativa que asegure la fiabilidad de los resultados.

## Referencias

- Ahmed *et al.* O. M. (2018). Factores de emisión de la generación de energía de gasificación de biomasa a pequeña escala distribuida: Comparación con la quema a cielo abierto y la generación de energía de biomasa a gran escala. *Atmospheric Environmental*, 221-227.
- Balma. C. (2018). *Comparación de las emisiones de gases efecto invernadero para dos tecnologías de tratamiento de residuos de pulpa de café en Costa Rica. (Tesis para optar para el grado de licenciatura)*. Heredia. Costa Rica: Universidad Nacional, Costa Rica.
- Chacón *et al.* R. J. (2012). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono*. San José. Costa Rica: MINAE-IMN.
- Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente. (2017). *Guía de Implementación del PPCN 2.0*. San José . Costa Rica.
- Ge, M. & Friedrich, J. (6 de Febrero de 2020). *World Resource Institute*. Obtenido de <https://www.wri.org/blog/2020/02/greenhouse-gas-emissions-by-country-sector>
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Programa País Carbono Neutralidad 2.0*. San José. Costa Rica: Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- Gobierno de Costa Rica. (2019). *Plan Nacional de Descarbonización 2018 - 2050*. San José. Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.
- Hernández. J. M., Beita Guerrero, V. H., Rojas Marín, J. F., Herrera Murillo, J., & Morera Campos, E. (2017). *Proyecto ATN/OC-14350-RG: Inventario de Gases de Efecto Invernadero en Empresas Exportadoras de Centroamérica*. Heredia. Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica.
- IPCC. (2006). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Jiménez, N. F. (2019). *Evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en beneficios de café, en términos de sus emisiones de gases de efecto invernadero*. Heredia. Costa Rica: Universidad Nacional.
- Kumar *et al.* A., S. M. (2018). Estimation of carbon stock for greenhouse gas emissions from hydropower reservoirs. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 3183-3193.
- NOAA. (24 de marzo de 2020). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html>
- OMM. (2019). *Organización Meteorológica Mundial*. Boletín de Gases Efecto Invernadero. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10100](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100)
- Rodríguez, J. (2018). *Estimación cualitativa de la incertidumbre para el inventario de contaminantes tóxicos del aire de la gran área metropolitana en el 2007*. San José. Costa Rica: UNED.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). *Our World in data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#citation>
- Tripathi, N., Hills, C., Singh, R., & Singh, J. (2020). Offsetting anthropogenic carbon emissions from biomass waste and mineralised carbon dioxide. *Scientific reports*.
- USEPA. (25 de marzo de 2020). *Environmental Protection Agency of United States*. AP-42 Vol. I Introduction. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/c00s00.pdf>