



Artículo de investigación

## Gases de efecto invernadero por generación de electricidad en usuarios no residenciales de Venezuela 2006-2017

### Greenhouse gases for generation of electricity in non-residential users of Venezuela 2006-2017

Rhonmer Pérez<sup>a</sup>, William Osal<sup>a</sup><sup>a</sup> Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Barquisimeto, Venezuela.DOI: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.15226.64965>

Recibido: 11-12-2018

Aceptado: 14-05-2019

#### Resumen

Para alcanzar el Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS), la producción de electricidad a base de energías limpias es uno de los medios para alcanzarlo. Al usar combustibles fósiles se tienen como subproductos las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), causantes de los cambios climáticos. Antes de implementar medidas para reducir las emisiones debe estimarse su valor actual. El objetivo es estimar las emisiones de GEI por generación de electricidad en usuarios no residenciales de Venezuela para el período 2006-2017, ambos inclusive, que cuenten o no con autogeneración y tengan suministro de energía por parte de la empresa eléctrica venezolana Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). La metodología empleada sigue las directrices del IPCC2006. Para el trabajo se utilizan los factores de emisión, la energía eléctrica suministrada por CORPOELEC y la autogenerada, y los tipos de combustibles para autogeneración. Los datos publicados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) de factores de emisión sólo se tienen hasta el 2015, para los años 2016 y 2017 se estiman con función de regresión de números cuadrados. La cuantificación de las emisiones sirve de apoyo a la toma de decisiones para la inversión en planes para alcanzar los ODS del 2030.

**Palabras clave:** autogeneración; combustibles fósiles; gases de efecto invernadero; usuarios no residenciales; Venezuela.

*Código UNESCO: 3306.02 - Aplicaciones eléctricas.*

#### Abstract

The Sustainable Development Goal (SDG) is being pursued with the production of electricity based in clean energy. When using fossil fuels, greenhouse gases (GHG) emissions, which cause climate changes, are by-products. Before implementing measures to reduce emissions, its current value must be estimated. The present paper, we estimated GHG for the generation of electricity in non-residential users in Venezuela for the period 2006-2017, both inclusive, whether or not they have self-generation and have the energy supply by electric company Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). The methodology used follows the guidelines of the IPCC (2006). For this work is used: emissions factors, electric energy supplied by CORPOELEC and self-generated and types of fuels for self-generation. The data published by the Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) of emissions factors are only found until 2015, for the years 2016 and 2017; its projection based on regression of square numbers. The quantification of emissions is highlighted and serves as a support to decision-making for investment in plans to achieve the 2030 SDG's.

**Keywords:** autogeneration; fossil fuels; greenhouse gases; non-residential users; Venezuela.

*UNESCO Code: 3306.02 - Electrical applications.*

## Lista de acrónimos y abreviaturas

CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
COP21	XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático.
CORPOELEC	Corporación Eléctrica Nacional S.A.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
MAPPER	<i>Maintain, Prepare and Produce Executive Reports.</i>
ODS	Objetivos del Desarrollo Sostenible.
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía.
PCG	Potencial de Calentamiento Global.
SAO	Sustancias Agotadora de la Capa de Ozono.
UNFCCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés.
WMO	Organización Meteorológica Mundial.

## 1. Introducción

La concentración Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre se ha visto alterada por la acción del hombre desde la era industrial, lo que ha causado un incremento de la temperatura promedio del planeta y diversos efectos. Desde 1995, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) afirma que la *acción antropogénica* es la causa principal del incremento gradual de la temperatura promedio de la Tierra y que los cambios climáticos son *inequívocos*. Éstos son gases de orígenes naturales y antropogénicos emitidos en actividades como la deforestación [1], la quema de combustibles fósiles (carbón y derivados del petróleo) y los procesos propios de la actividad industrial. Los efectos no son similares en las diversas regiones. Entre estos, el Jefe de Grupo de Educación y Sensibilización Ambiental, Edgar Sterling [1], afirma que se encuentran el aumento del nivel de los océanos generando inundación e incluso la desaparición de ciudades costeras, afectaciones en la vida silvestre y extinción de especies en temperaturas límites, eventos climáticos extremos y dispersión de enfermedades, entre otros.

Debido a la diversidad de efectos surgen medidas de regulación de emisión de GEI, publicadas en diversos acuerdos a nivel internacional, entre estos los más conocidos son el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. El Protocolo de Kioto, adoptado en el año 1997, entra en vigencia en el 2005, es considerado el primer gran paso de importancia mundial para la mitigación de las emisiones y ofrecía un modelo base para acuerdos futuros referentes a los cambios climáticos [2]. El Acuerdo de París, firmado en el año 2016, actualmente vigente, tiene como objetivo lograr la disminución de las emisiones a nivel mundial y, adicionalmente, mantener el incremento de la temperatura mundial en un nivel inferior de 1,5°C para el año 2030. En este tenor, se han definido 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [3], entre los que se destaca el siete (7), relativo a la producción de “*Energía asequible y no contaminante*”.

La electricidad es una de las energías utilizada mayormente por el hombre en sus actividades por sus múltiples aplicaciones. La matriz energética mundial indica que la mayor parte de las grandes centrales eléctrica utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento. Si a esta situación le adicionamos que las plantas eléctricas que se instalan en usuarios finales son generalmente a base de este tipo de combustibles, estaremos evidenciando lo que comentan los informes del IPCC, que la generación de energía eléctrica es una de las principales responsables de las emisiones de los GEI y de los cambios climáticos. Sólo para el 2014, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> se situaron alrededor del 40% dado por el sector electricidad y calor [4].

Para lograr los ODS y poder considerar las emisiones de GEI en la toma de decisiones en proyectos y planes de inversión, se deben caracterizar en función del consumo de energía suministrado por las empresas eléctricas y de las plantas que se utilizan para la autogeneración. Esto se logra instalando un *Maintain, Prepare and Produce Executive Reports* (MAPPER) en las chimeneas de las plantas eléctricas que permiten llevar un registro y contabilización de las emisiones al momento de ponerla en operación. Las emisiones dependen del tipo de combustible utilizado y de la tecnología, eficiencia, mantenimiento, cargabilidad, años de vida y otras variables de la planta eléctrica utilizada. La cantidad de variables a considerar, hace que dificulten la forma de estimar las emisiones de GEI, si no se realiza con las mediciones en las salidas de las chimeneas. Sin embargo, por razón de auditorías, certificaciones o de suministrar la información a quienes los requieran es necesario estimar las emisiones, aunque no se disponga de un MAPPER para la medición, registro y cuantificación de las emisiones de GEI.

Los países, entre estos Venezuela, realizan mediciones y estimaciones de las emisiones anuales de GEI [5], en función la producción de energía anual y la cantidad y tipo de combustibles utilizados. Esto se realiza ya que se ha definido en diversos acuerdos, normativas y metas para limitar las emisiones de GEI y, de esta manera, desacelerar los impactos ambientales. En este sentido, usuarios del servicio eléctrico desean llevar la contabilidad de sus emisiones, considerando adicionalmente, las asociadas a la autogeneración. Entre estos usuarios se encuentran los no residenciales, es decir, organizaciones públicas o privadas, encargadas de la producción de bienes y servicios a nivel nacional [6].

En este marco, el propósito del presente trabajo es estimar las emisiones de GEI en usuarios no residenciales en Venezuela para el período 2006-2017, ambos inclusive, que sirva de apoyo a la toma de decisiones para la inversión en planes orientados al logro de los ODS para el 2030. Los datos publicados por la OLADE de factores de emisión (t/GWh) sólo se encuentran hasta el año 2015, en este sentido, para los años 2016 y 2017, se realiza su proyección en función de regresión de número cuadrados. La misma se basa en las metodologías incluidas en las normas y recomendaciones presentes en la UNE-ISO 14064-1 y las Directrices del IPCC de 2006. Considerada como principal aporte que sirva de base para valorar los planes de crecimiento e inversión en los usuarios no residenciales. Esta estimación está realizada en función de los datos llevados por la OLADE y los tipos de combustibles utilizados.

La estructura del presente trabajo incluye una sección dedicada a dar un marco referencial legal, tanto de acuerdos internacionales como nacionales, sobre las propuestas de control de las emisiones de los GEI. Se incluye una descripción de la metodología y, finalmente, la discusión de resultados obtenidos a partir del análisis del consumo de un usuario no residencial.

## **2. Desarrollo**

### **2.1 Acuerdos internacionales y nacionales para el control de las emisiones de los GEI**

La preocupación social y acción ambiental se inicia en el año 1968, cuando se funda el Club de Roma, creado con el propósito de contribuir al bienestar social y económico a través de la investigación prospectiva sobre la intervención del hombre en el mundo, referenciado por [7]. En febrero de 1979 en Ginebra, Suiza, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), se organiza la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima. El enfoque principal de la conferencia fue el calentamiento global y como podía verse afectada las actividades humanas [8].

La primera iniciativa disminuir el agotamiento del ozono de la Tierra a raíz de la utilización de los clorofluorocarbonos y otras sustancias químicas es el denominado Convenio de Viena, acordado el 22

de marzo de 1985, que fue firmado por 21 países y presenta el marco de actividades para la protección de la capa de ozono. El Protocolo de Montreal, relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa d Ozono (SAO), el 16 de septiembre de 1987, fue firmado por 46 naciones, como resultado final de los objetivos establecidos por el Convenio de Viena [9]. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, por sus siglas en inglés) establece el Protocolo de Kioto. Primer tratado del cambio climático adoptado en Diciembre de 1997 en Kioto, Japón. Sin embargo, es en el año 2005 que entra en vigor, por presentar un riguroso proceso de legalización [10]. Para el 2009, 187 países habían firmado este protocolo, referenciado en [7].

El Acuerdo de París es un acuerdo internacional acerca del cambio climático [11]. Adoptado el 12 de diciembre del 2015 en la COP21, CMNUCC celebrada en París del 30 de noviembre al 11 de diciembre de 2015. El objetivo de este acuerdo es mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, referenciado en [7]. Inicialmente, el 19 de Mayo de 1995, se publica el Decreto N° 638 mediante la cual se instauran normas sobre la calidad del aire y el control de la contaminación atmosférica dadas por las fuentes fijas. Sin embargo, es la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela del año 1.999 [12], en sus artículos 127 al 129, y en *Orgánica del Ambiente* [13] donde se establece por primera vez el marco legal que define como un derecho humano un ambiente digno y se incluye políticas de proteger y conservar la diversidad biológica, así como cualquier área de importancia ecológica.

## 2.2 Metodología

El presente documento sigue la metodología recomendada por la guía para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1 (2006) referenciado por [14], y las directrices del IPCC de 2006, para los inventarios de los GEI. En el Protocolo de Kioto, para los cálculos de emisiones de GEI por la generación de electricidad por consumo de combustibles fósiles, se consideran el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, dado que los gases HFC y PFC (empleados en procesos de refrigeración) y el SF<sub>6</sub> (utilizado como medio de extinción, aislante en subestaciones eléctricas y de otras formas en los procesos) son emisiones fugitivas. A continuación de describen las premisas generales utilizadas en la metodología:

- a. Para la estimación de emisiones de GEI se considera una fuente donde existe un proceso de transformación química, como es el caso de las indirectas por la generación de electricidad, se procede con la ecuación (1) [14].

$$\text{Emisiones (tCO}_2\text{-e)} = \text{Dato de Actividad} \times \text{Factor de Emisión} \quad (1)$$

Siendo el *Dato de Actividad* el consumo de energía eléctrica del usuario (expresado en GWh), facturado por la empresa encargada del suministro, y el *Factor de Emisión* expresado en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por GWh (tCO<sub>2</sub>-e /GWh).

- b. Considerando que cada GEI tiene un Potencial de Calentamiento Global (PCG), con un horizonte temporal de 100 años, ver **Cuadro 1**, el factor de emisión (expresado en tCO<sub>2</sub>-e/GWh) se determina empleándolo para cada Gas, con la ecuación (2) [7].
- c. Año base. Es necesario establecer un año base para propósitos de realizar comparaciones en las emisiones de GEI en una serie temporal o alguna información relacionada. Para esto el año base se sigue la misma metodología de cálculo descrita [14].

$$\text{Factor de emisión} = (\text{CO}_2 * 1 + \text{CH}_4 * 34 + \text{N}_2\text{O} * 298) \quad (2)$$

**Cuadro 1.** Propiedad de los GEI.

<b>Designación Industrial del GEI</b>	<b>Simbología</b>	<b>PCG</b>
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	34
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	298
Gases fluorados	HFC, PFC y SF <sub>6</sub>	Alto

Fuente: [7]

El **Cuadro 2** muestra las emisiones de GEI por la generación de energía eléctrica (t/GWh) para Venezuela en el período 2006 – 2017, información obtenida del Informe de Estadísticas Energéticas OLADE hasta el año 2015. Los años 2016 y 2017 fueron estimados en función de regresión de número cuadrados [15]. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (t/GWh) por tipo de combustible se muestran en el **Cuadro 3**.

**Cuadro 2.** Emisiones de GEI por la generación de energía eléctrica (t/GWh) para Venezuela en el período 2006 – 2017.

<b>Gas</b>	<b>Año</b>											
	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	196.76	181.58	252.59	270.64	261.73	233.60	263.54	251.54	251.40	316.19	298.26	307.40
<b>CH<sub>4</sub></b>	0.0148	0.0138	0.0241	0.0252	0.0259	0.0228	0.0256	0.0251	0.0193	0.0249	0.0265	0.0273
<b>N<sub>2</sub>O</b>	0.9575	0.8865	1.4369	1.5208	1.5156	1.3385	1.5164	1.4662	1.2382	1.5682	1.6087	1.6567

**Fuente:** Elaboración propia, con base en [7].

**Cuadro 3.** Emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (t/GWh) por tipo de combustible.

<b>Combustible</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>
Biodiesel 100%	254.720	0.03598	0.00216
Bioetanol 100%	215.145	0.03598	0.00216
Biomasa (Madera)	402.947	1.07932	0.01439
Butano	238.170	-	-
Fuelóleo	273.428	0.03598	0.00216
Gas Natural	201.474	0.01799	0.00036
Gasóleo Caldera (C)	262.635	0.03598	0.00216
Gasóleo Vehículo (A)	262.635	0.01403	0.01403
Gasolina	249.323	0.08994	0.02878
Propano	228.816	0.01799	0.00036

**Fuente:** Elaboración propia a partir de [14].

### 3. Resultados

#### 3.1 Factor de emisión expresado en unidad de CO<sub>2</sub>-e

Empleando la ecuación (2) para el cálculo, en el **Cuadro 4** se listan los factores de emisión anuales para Venezuela en el período 2006 – 2017. Los factores de emisión por tipo de combustible se

muestran en el **Cuadro 5**, en el cual, para su cálculo se emplearon los datos dados en el **Cuadro 3**.

### 3.2 Energía

Los datos de energía facturada para dos usuarios se muestran en los **Cuadro 6**, **Cuadro 7** y **Cuadro 8**. El **Cuadro 6** es referente a la compra de energía a CORPOELEC para un usuario industrial sin autogeneración. En los **Cuadro 7** y **Cuadro 8** se tienen los datos de compra de energía, así como por autogeneración de electricidad para otro usuario industrial.

**Cuadro 4.** Factor de Emisión por la generación de energía eléctrica para Venezuela del período 2006 – 2017.

Año	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> /GWh)	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> -e/GWh)
2006	196,76	482,5939
2007	181,58	446,2304
2008	252,59	681,6030
2009	270,64	724,6916
2010	261,73	714,2580
2011	233,60	633,2429
2012	263,54	716,2983
2013	251,54	689,3190
2014	251,40	621,0359
2015	316,19	784,3638
2016	298,26	778,4288
2017	307,40	801,8952

Fuente: Elaboración propia a partir de [7].

**Cuadro 5.** Factor de Emisión por tipo de combustible.

Combustible	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> /GWh)	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> -e/GWh)
Biodiesel 100%	254,720	256.587
Bioetanol 100%	215,145	217.012
Biomasa (madera)	402,947	443.932
<b>Fuelóleo</b>	<b>273,428</b>	<b>275.295</b>
Gas Natural	201,474	202.193
Gasóleo Caldera (C)	262,635	264.502
Gasóleo Vehículo (A)	262,635	267.293
Gasolina	249,323	260.957
Propano	228,816	229.535

Fuente: Elaboración propia a partir de [14].

**Cuadro 6.** Energía eléctrica facturada (GWh). Usuario industrial sin autogeneración.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Energía Total Anual</b>	2,5949	2,2286	2,1714	2,0179	1,7393	1,7334	1,4882	1,3188	1,1495

Fuente: [15].

**Cuadro 7.** Energía eléctrica facturada (GWh). Usuario industrial con autogeneración.

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Energía Total Anual</b>	15,4427	15,5657	14,0949	15,3152	15,5649	15,0044	15,0673	15,0395

Fuente: [15].

**Cuadro 8.** Autogeneración de energía eléctrica (GWh). Usuario industrial con autogeneración.

2010	Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
2,4873	<b>Energía Total Anual</b>	1,7522	1,8476	1,3993	1,1846	0,5792	0,5900	0,5226

Fuente: [15].

### 3.3 Emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e

#### a. Usuario industrial sin autogeneración

En el **Cuadro 9** se listan las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e para el usuario industrial que carece de autogeneración.

**Cuadro 9.** Emisiones anuales de GEI (t) para un usuario sin autogeneración.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>CO<sub>2</sub></b>	702,15	583,28	507,24	531,80	437,50	435,76	470,55	393,34	353,35
<b>CO<sub>2</sub>-e</b>	1880,18	1591,77	1375,01	1445,44	1198,93	1076,48	1167,25	1026,61	921,77

Fuente: [15]

#### b. Usuario industrial con autogeneración

En el **Cuadro 10** se muestran las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> así como de CO<sub>2</sub>-e para el usuario industrial con autogeneración.

**Cuadro 10.** Emisiones anuales (t) de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e debido a la compra y autogeneración de energía para un usuario industrial con autogeneración

Emisiones por:		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Compra de Energía</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	4041,80	3636,16	3714,55	3852,36	3912,96	4744,29	4493,89	4623,13
	<b>CO<sub>2</sub>-e</b>	11030,08	9856,84	10096,12	10557,06	9666,38	11768,89	11728,80	12060,07
<b>Autogeneración</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	680,101	479,100	505,198	382,616	323,900	158,371	161,325	142,892
	<b>CO<sub>2</sub>-e</b>	684,744	482,371	508,648	385,229	326,112	159,453	162,427	143,868

Fuente: Elaboración propia. Datos: [15]

### 3.4 Análisis de los resultados

La finalidad del presente trabajo se estiman las emisiones de GEI por generación de electricidad en usuarios no residenciales de Venezuela para el período 2006-2017, ambos inclusive, que cuenten o no con autogeneración y tengan suministro de energía por parte de la empresa eléctrica Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) y que sirva de apoyo a la toma de decisiones para la inversión en

planes para lograr los ODS del 2030. Para el logro de este propósito se utiliza el *Factor de Emisión*, el cual es llevado por los diferentes países para estimar sus emisiones y con otros propósitos. El **Cuadro 11** muestra alguno de los reportados en las diferentes literaturas para países en otras latitudes, entendiéndose que este es función de la cantidad de energía producida en base a combustibles fósiles, el tipo de tecnológica y de otros factores. Lo que demuestra el interés que existe en países e instituciones de realizar un inventario de las emisiones.

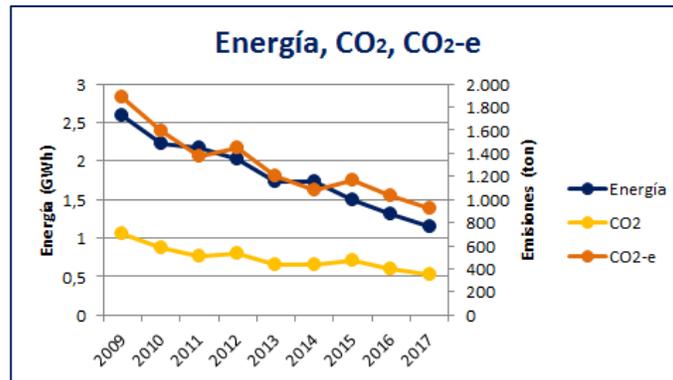
**Cuadro 11.** Factores de emisión para diferentes países reportado en la literatura especializada.

Autor (es)	Año	País / Institución	Período	Emisiones o factor de emisiones	Referencia
Vijay, Molina y Molina	2004	México	2001-2002	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kt) año 2001 y 2002= 104.501; 94481,95	[16]
Álcantara y Padiila	2005	España	1990-2001	Emisiones de CO <sub>2</sub> (números índice) para España. Años 1990 y 2001 = 100 y 138,30	[17]
PRICC	2008	Colombia	2008	Emisiones de CO <sub>2</sub> -e (Gg) para Cundinamarca y Bogotá en el Sector Energía = 5.897 y 9.169	[18]
Salazar, Mockey y Canal	2009	Cuba	2007-2008	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> /MWh). Años 2007 y 2008= 0,795 y 0,794 (para el sector de electricidad)	[19]
Hernández	2010	España	2007	Factor de Emisión (kgCO <sub>2</sub> /kWh) = 0,415 (para el sector de electricidad)	[20]
Falconi	2011	México	2002	Factor de Emisión de Carbono (tC/TJ) = 20,2 (para el Diesel)	[21]
Cámara, Flores y Fuentes	2013	España	2008	Emisiones de CO <sub>2</sub> -e (t)= 79.698.516 (producción y distribución de electricidad)	[22]
Parra	2015	Ecuador	2001-2014	Factor de Emisión (gCO <sub>2</sub> kWh <sup>-1</sup> ). Año 2014= 342,6	[23]
Chavarría, Molina, Gamboa y Rodríguez	2016	Universidad Nacional de Costa Rica	2012-2014	Factor de Emisión (kgCO <sub>2</sub> -e/kWh). Años 2012, 2013 y 2014, respectivamente = 0,0824; 0,0771; 0,1300	[24]
CELSIA S.A E.S.P	2016	Panamá	2011	Factor de Emisión (kgCO <sub>2</sub> -e/kWh) = 0,277 asociado al consumo de energía eléctrica	[25]

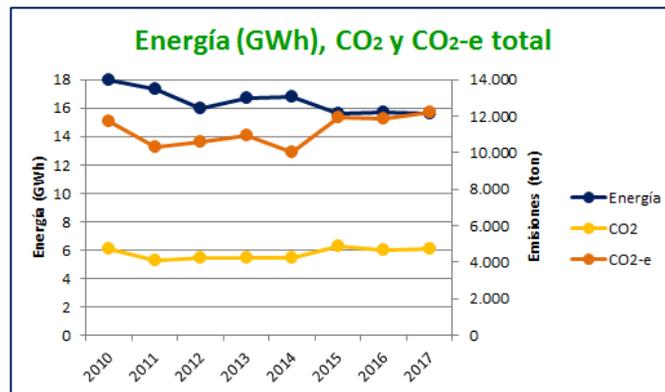
**Fuente:** Elaboración Propia

La **Figura 1** muestra la relación de la energía total consumida (en línea azul) y el total de emisiones acumuladas por año (en línea amarilla para el CO<sub>2</sub> y naranja para el CO<sub>2</sub>-e) para el usuario sin autogeneración. Se observa una disminución de la energía, por las medidas de eficiencia energética implementadas. Sin embargo, por la dependencia que tienen al factor de emisión nacional, se puede observar que aunque la energía ha logrado reducirse en un 55,69%, del 2017 referente al 2009, las emisiones de CO<sub>2</sub>-e sólo lo han hecho en un 50,97%.

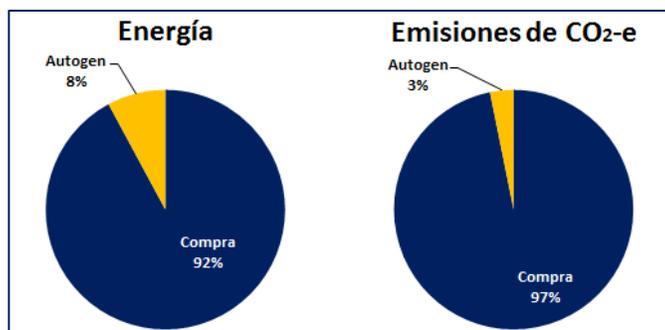
La **Figura 2** muestra, para el caso del usuario con autogeneración, la relación de la energía total y emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e total por año para el período 2010-2017, se observa una disminución del 13,21% de la energía consumida del año 2017 con respecto al 2010 y las emisiones de CO<sub>2</sub>-e incrementaron un 4,18%. Finalmente, la **Figura 3** muestra los valores de energías y emisiones para el usuario con autogeneración. Se visualiza que la compra de electricidad es quien tiene mayor participación en cuanto a las emisiones de GEI en este usuario con autogeneración.



**Figura 1.** Energía (GWh) y emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e (t) para un usuario sin autogeneración.



**Figura 2.** Energía (GWh) y emisiones totales de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e (t) para un usuario con autogeneración.



**Figura 3.** Energía (GWh) y emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e (t) acumuladas (período 2010-2017) para un usuario con autogeneración.

## Conclusiones

Se estiman las emisiones de GEI por generación de electricidad en usuarios no residenciales de Venezuela para el período 2006-2017, ambos inclusive, que cuenten o no con autogeneración y tengan suministro de energía por parte de la empresa eléctrica Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Las emisiones acumuladas aproximadas para el usuario sin autogeneración son de 4.415 y 11.683 t, de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e, respectivamente, para el período 2009-2017. De manera similar, las emisiones acumuladas aproximadas para el usuario con autogeneración en el período 2010-2017 son de 35.853 y 89.617 t, de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>-e, respectivamente.

La energía y las emisiones de GEI no comparten un patrón, es decir, un aumento en el consumo de energía no implica un aumento de las emisiones y viceversa. Como se pudo observar en usuario con autogeneración, mostró una disminución del 13,21% de la energía consumida del año 2017 con respecto al 2010 y las emisiones de CO<sub>2</sub>-e incrementaron un 4,18%.

Las emisiones, por ser valores algebraicos, se pueden acumular y observar las concentraciones anuales de éstas para cada usuario. Con esto se logra evaluar las políticas propias de reducción de emisiones previamente establecidas. Para el usuario con autogeneración durante el período 2010-2017 se tiene un total acumulado para las emisiones de CO<sub>2</sub>-e de 2.853 y 86.764 t, donde la primera cifra corresponde al 3% por autogeneración y la segunda al 97% por compra de energía, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub>-e tienen valores acumulativos mayores comparados con el CO<sub>2</sub>, esto se debe a que los gases distintos al CO<sub>2</sub>, considerados para el cálculo, poseen un PCG mayor a la unidad (1).

Dependiendo del tipo de combustible que se emplee para las plantas de autogeneración tendrá mayor o menor cantidad de GEI como subproducto, tal como lo indican los factores de emisión en el **Cuadro 3**. Esto sirve de ayuda para ser considerado en cambios del tipo de tecnología y/o planes de expansión de la autogeneración y/o usuarios no residenciales.

## Referencias

- [1] Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de el Niño CIIFEN, 2016. [OnLine](#)
- [2] United Nations. Framework Convention on Climate Change, Protocolo de Kyoto, 2013. [OnLine](#)
- [3] Naciones Unidas. Agenda de post - desarrollo 2015, 2015. [OnLine](#)
- [4] International Energy Agency (IEA). Energy, Climate Change and Environment, 2016. [OnLine](#)
- [5] Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), *Informe de estadísticas energéticas*, 1era ed. Quito, 2016.
- [6] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Capítulo 2. *Combustión estacionaria*, 2: 1–47, 2006. [OnLine](#)
- [7] L. Sánchez. Evaluación de la eficiencia de las políticas públicas como contribución al control de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la generación de energía eléctrica, Tesis Doctoral, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela, 2017.
- [8] J. Zillman. Historia de las actividades entorno al clima. *Boletín de la OMM*, 58 (3):141-150, 2009. [OnLine](#)
- [9] Ministerio del Ambiente de la República de Colombia Minambiente, Convención de Viena y protocolo de Montreal, 2018. [OnLine](#)
- [10] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Protocolo de Kyoto de la Conversión Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, 1998. [OnLine](#)
- [11] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Acuerdo de París, 2015. [OnLine](#)
- [12] Asamblea Nacional Constituyente de la República Bolivariana de Venezuela, Gaceta oficial extraordinaria N°5.453, 2000.

- [13] Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, Gaceta oficial extraordinaria N° 5.833, 2006.
- [14] Gobierno Vasco. Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de gases de efecto invernadero en organizaciones. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. 2012. [OnLine](#)
- [15] R. Pérez. Metodología para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero por el consumo de energía eléctrica en usuarios industriales. Tesis doctoral. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Barquisimeto, Venezuela, 2018.
- [16] S. Vijay; L.T. Molina; y M. J. Molina. Atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano. Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), 2004. [OnLine](#)
- [17] V. Alcántara Escolano; E. Padilla Rosa. Análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. *Revista de Economía Crítica*, 4:17-37, 2005. [OnLine](#).
- [18] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Informe, Inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Bogotá – Cundinamarca, 2012. [OnLine](#)
- [19] I. Salazar; I. Mockey; M. Canal. Estimado de la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> por acciones de ahorro de electricidad en las condiciones de Cuba, *Ingeniería Energética*, 31(3): 1-5, 2009. [OnLine](#)
- [20] J. Hernández. Consumo energético y emisiones asociadas del sector residencial. In 15th International Congress on Project Engineering. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. 2012. [OnLine](#)
- [21] J. López; E. Meráz; D. Márquez; A. Calzada. Modelado de la evolución de las emisiones de contaminantes atmosféricos proveniente del subsector transporte en el estado de tabasco. *Kuxulkab*, 20(39): 4-11, 2014. [OnLine](#)
- [22] A. Sánchez; M. García; P. Saguar. Análisis de las emisiones asociadas al sector energético en España. *Estudios de economía aplicada*, 31(1), 6-20. 2013. [OnLine](#)
- [23] R. Narváez. (2015). Factor de emisión de CO<sub>2</sub> debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 7(2):80-85, 2015, [OnLine](#).
- [24] F. Chavarría-Solera; Ó. Molina-León; R. Gamboa-Venegas; J. Rodríguez-Flores. Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014, *Uniciencia*, 30(2): 47-62, 2016. [OnLine](#)
- [25] CELSIA. Inventario de gases de efecto invernadero año 2016. *Informe Técnico*, pp. 1–52, 2016. [OnLine](#)

### Información adicional

Este trabajo ha sido arbitrado en esta revista y corresponde al extenso de la ponencia con resumen presentada en el VI Seminario de Gestión Tecnológica (ALTEC 2018), realizado los días 21, 22 y 23 de Noviembre del 2018 en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Barquisimeto, Venezuela.

### Sobre los autores

#### *Rhonmer Orlando Pérez Cedeño*

Ingeniero Electricista. Departamento de Mantenimiento de Productos Alimex C.A, Barquisimeto, Venezuela.  
Correo electrónico: rhonmerperez@gmail.com.

[ORCID](#)

#### *William José Osal Herrera*

Ingeniero Electricista, Magister Scientiarum en Ingeniería Eléctrica, Doctor. Profesor e Investigador en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Barquisimeto, Venezuela.  
Correo electrónico: wosal@unexpo.edu.ve

[ORCID](#)

[Google Scholar](#)