

## Factor de emisión de CO<sub>2</sub> debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014

René Parra<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería. Instituto de Investigaciones Atmosféricas. Pampite y Diego de Robles, Campus Cumbayá, Quito, Ecuador.

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: rrparr@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 2015/08/25. Aceptado/Accepted: 2015/08/27.

Publicado en línea/Published on Web: 2015/12/30. Impreso/Printed: 2015/12/30.

### CO<sub>2</sub> emission factor for electricity generation in Ecuador during the period 2001 - 2014

#### Abstract

Electricity is a key energetic component to socio-economic development. Its production is based on the consumption of non-renewable resources (fossil fuels), renewable sources and nuclear energy. The generation by fossil fuels produces the emission of air pollutants and greenhouse gases, whose magnitude directly depends on the configuration of the matrix or mix of power generation from a country or region. Globally the percentage of CO<sub>2</sub> emissions attributed to electricity and heat generation reaches 41 %. The CO<sub>2</sub> emission factors for electricity generation in Ecuador were estimated for the period 2001-2014. The results vary between 241.0 and 397.5 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. The highest value corresponds to 2010, the year with the highest participation of non-renewable resources (52.2 %). The lower value corresponds to 2003, year with lowest participation of non-renewable resources (34.5 %). The most recent value, for the year 2014, is 342.6 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. This emission factor serves to establish indicators of sustainability, as the carbon or the ecological footprint. It is a basic parameter in energy planning and in estimation of greenhouse gases emissions.

**Keywords.** ecological footprint, carbon footprint, mix of generation, sustainability, energy performance.

#### Resumen

La electricidad constituye un elemento energético clave para el desarrollo socioeconómico. Su producción se basa en el consumo de recursos no renovables (combustibles fósiles) y el uso de fuentes renovables y energía nuclear. La generación mediante combustibles fósiles produce la emisión de contaminantes del aire y de gases de efecto invernadero, cuya magnitud depende directamente de la configuración de la matriz o mix de generación eléctrica de un país o región. A nivel mundial, el porcentaje de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se atribuye a la electricidad y la generación de calor alcanza el 41 %. Se estimaron los factores de emisión de CO<sub>2</sub> por generación eléctrica en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014. Los resultados varían entre 241.0 y 397.5 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. El mayor valor corresponde al 2010, año con la mayor participación de fuentes no renovables (52.2 %). El menor valor corresponde al 2003, año con la menor participación de fuentes no renovables (34.5 %). El valor más reciente, para el año 2014, es 342.6 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. Este factor de emisión sirve para establecer indicadores de sustentabilidad, como la huella de carbono o la huella ecológica. Es un parámetro básico en la planificación energética y en la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Palabras Clave.** huella ecológica, huella de carbono, mix de generación, sustentabilidad, rendimiento energético.

#### Introducción

La electricidad constituye un elemento energético clave para el desarrollo socioeconómico. Durante el año 2014 en el Ecuador se generaron 24 307.2 GWh de electricidad y se importaron 836.7 GWh; totalizando 25 143.9 GWh. De este valor, el 85.5 % se destinó al consumo

público; y el restante 14.5 % para procesos productivos y de explotación [1].

La electricidad se genera en parte por la combustión de recursos no renovables, como los combustibles fósiles (carbón, diesel, bunker, gasolina, gas natural, gas licuado de petróleo, otros); que se utilizan típicamen-

te en calderos, turbinas o motores de combustión interna. Los rendimientos energéticos (electricidad producida/calor liberado de combustión) con tecnologías convencionales son bajos, y suelen variar entre 0.3 y 0.35. Nuevas tecnologías, como la cogeneración (generación de electricidad y aprovechamiento del calor de los gases de combustión) o de ciclo combinado (generación de electricidad y aprovechamiento del calor de los gases de combustión para generar una cantidad adicional de electricidad) presentan mejores rendimientos, con valores entre 0.4 y 0.55. El uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad, implica la emisión de contaminantes del aire y de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En la generación de una cantidad específica de electricidad, y por sus bajos rendimientos, las tecnologías convencionales generan mayores emisiones en comparación con las nuevas tecnologías.

A nivel mundial, la generación eléctrica es responsable de un porcentaje importante de las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), uno de los principales GEI. En el año 2008 se generaron 19.1 PWh de electricidad, de los cuales el 67.2 % fue producido mediante combustibles líquidos, gas natural y carbón; el 19.3 % fue generado con fuentes renovables, y el 13.5 % en centrales nucleares. Para el año 2035 se proyecta que la participación de combustibles líquidos, gas natural y carbón sea del 60.2 % [2]. Para el año 2010, se estimó la emisión mundial de  $\text{CO}_2$  en 30.3 Gt; de las cuales, el 41 % corresponde a la generación eléctrica y de calor [3]. Por otra parte, las fuentes renovables (como las hidroeléctricas, biomasa, parques eólicos y fotovoltaicos) y de energía nuclear, generan electricidad con una emisión mínima o nula de GEI, aunque presentan otros impactos o riesgos ambientales.

Se conoce como matriz o mix de generación, a la infraestructura de un país o región para la producción eléctrica. Según el caso el mix presenta porcentajes variados de participación de fuentes renovables y no renovables, y por ello define el nivel de emisiones de contaminantes del aire y de GEI. Cuando existe una participación importante de infraestructuras que consumen combustibles fósiles, las emisiones son también importantes.

Como paso previo al control de las emisiones de GEI asociadas al consumo eléctrico, tanto a nivel nacional, local, institucional o personal inclusive, se requiere cuantificar previamente el factor de emisión eléctrico, que corresponde a cantidad de  $\text{CO}_2$  que se emite a la atmósfera, por cada unidad de electricidad generada. Este artículo presenta la estimación del factor de emisión de  $\text{CO}_2$ , debido a la generación eléctrica en el Ecuador, durante el periodo 2001 - 2014.

### Método

Se recopiló información del Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC) y de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), en relación al

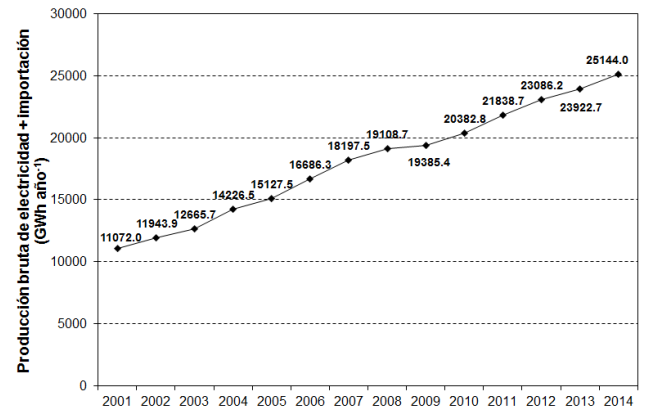


Figura 1: Producción bruta de electricidad en el Ecuador más energía importada ( $\text{GWh año}^{-1}$ ) durante el periodo 2001 - 2014 [1, 4, 5].

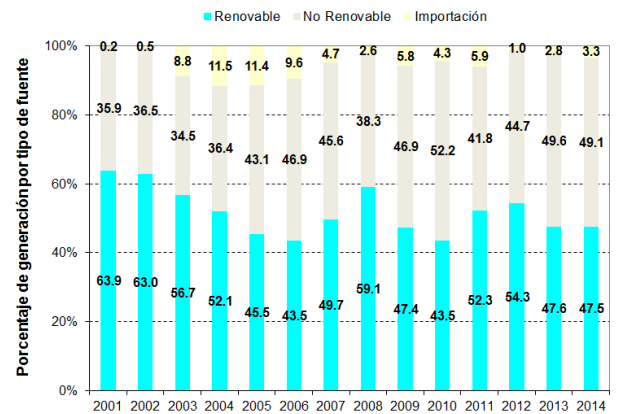


Figura 2: Composición en porcentaje de la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014 por tipo de fuente [1, 4, 5, 9-17].

consumo de combustibles para producción bruta de electricidad en el periodo 2001 - 2014 (Tabla 1). La producción bruta corresponde a la cantidad de electricidad generada mediante la infraestructura existente en el país, destinada tanto para servicio público y no público. Para los combustibles de la Tabla 1, se recopiló información del poder calorífico, el factor de emisión de  $\text{CO}_2$  y la densidad (Tabla 2).

Adicionalmente se recopiló la información sobre la producción bruta de electricidad y de la cantidad de energía importada (Figura 1), y de la composición en porcentaje por tipo de fuente (Figura 2). Las fuentes se agrupan en renovables (hidráulica principalmente; en menor grado, térmicas que usan bagazo de caña de azúcar; y eólica - fotovoltaica con participaciones marginales), no renovables (aprovechamiento energético de los combustibles fósiles en térmicas que funcionan con motores de combustión interna, turbinas de gas y turbinas de vapor) y las importaciones internacionales.

Combustible	Unidad (millones)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fuel oil	Galones	184.3	190.1	180.1	169.4	201.3	210.6	220.9	191.9	225.0	235.4	265.9	312.7	343.5	368.8
Diesel 2	Galones	88.5	78.7	55.1	91.8	120.6	172.0	166.8	124.6	207.8	315.2	172.3	139.2	176.9	185.6
Nafta	Galones	9.8	7.1	2.3	5.8	26.5	34.4	4.0	7.9	10.0	14.6	14.7	0.1	2.7	0.0
Gas natural	Miles de pies cúbicos		5.1	8.9	11.3	13.2	15.7	18.4	16.1	19.3	20.0	17.7	23.2	25.9	26.7
Residuo	Galones					10.7	15.7	29.4	30.8	39.0	38.4	34.1	32.9	32.1	36.2
Crudo	Galones				3.7	15.1	22.5	50.9	55.0	57.0	60.5	62.8	67.2	75.6	77.1
Gas licuado de petróleo	Galones						7.6	8.3	8.6	7.6	7.8	7.1	6.3	5.9	6.3
Bagazo de caña	Toneladas	184.3	190.1	180.1	169.4	201.3	210.6	220.9	191.9	225.0	235.4	265.9	312.7	343.5	368.8

Nota: La referencia [1] actualiza algunos datos estadísticos de los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2011.

Tabla 1: Consumo de combustibles para la producción bruta de electricidad en el Ecuador, durante el periodo 2001 - 2014.

Combustible	Poder calorífico			Factor de emisión de CO <sub>2</sub>			Densidad			Observaciones
	Valor	Unidad	Fuente	Valor	Unidad	Fuente	Valor	Unidad	Fuente	
Fuel oil	40.4	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	77 400	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	944	kg m <sup>-3</sup>	[7]	Se asume la densidad de la gasolina
Diesel 2	43	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	74 100	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	845	kg m <sup>-3</sup>	[7]	
Nafta	44.5	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	73 300	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	739	kg m <sup>-3</sup>	[7]	
Gas natural	48	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	56 100	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	0.042	Lb pie <sup>-3</sup>	[7]	
Residuo	40.4	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	77 400	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	944	kg m <sup>-3</sup>	[7]	
Crudo	42.3	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	73 300	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	874	kg m <sup>-3</sup>	[7]	
Gas licuado de petróleo	47.3	TJ Gg <sup>-1</sup>	[6]	63 100	kg TJ <sup>-1</sup>	[4]	528.6	kg m <sup>-3</sup>	[7]	
Bagazo de caña	2220	kcal kg <sup>-1</sup>	[8]	780	kg Mg <sup>-1</sup>	[6]				

Tabla 2: Propiedades de los combustibles utilizados para la producción bruta de electricidad en el Ecuador, durante el periodo 2001 - 2014.

Combustible	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fuel oil	2059.3	2124.3	2012.3	1892.7	2249.0	2353.1	2467.5	2144.1	2514.0	2630.3	2970.8	3493.4	3838.0	4120.3
Diesel 2	901.5	801.5	561.5	935.3	1229.4	1753.0	1699.7	1270.1	2117.7	3212.1	1755.6	1418.2	1802.3	1891.0
Nafta	89.5	65.1	20.8	52.7	241.8	314.2	36.5	72.4	90.8	133.6	134.2	0.8	24.7	0.0
Gas natural	0.0	262.2	457.7	580.9	674.8	806.7	942.7	825.1	990.4	1028.3	908.8	1192.0	1327.5	1367.5
Residuo	0.0	0.0	0.0	0.0	119.1	175.0	328.8	343.6	435.2	429.4	381.3	367.0	358.8	404.9
Crudo	0.0	0.0	0.0	37.7	154.5	231.2	522.0	564.0	585.1	620.9	644.2	688.9	775.5	790.7
Gas licuado de petróleo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.3	49.4	51.2	45.3	46.3	42.2	37.6	35.0	37.9
Bagazo de caña	0.0	0.0	0.0	0.0	1599.0	1037.4	1513.2	1021.8	670.8	709.8	826.8	873.6	850.2	1037.4
Emissiones totales netas	3050.2	3253.1	3052.4	3499.3	4668.5	5678.5	6046.6	5270.5	6778.3	8100.9	6837.2	7197.9	8161.8	8612.3

Tabla 3: Emisiones de CO<sub>2</sub> (kt año<sup>-1</sup>) debido a la generación bruta de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014.

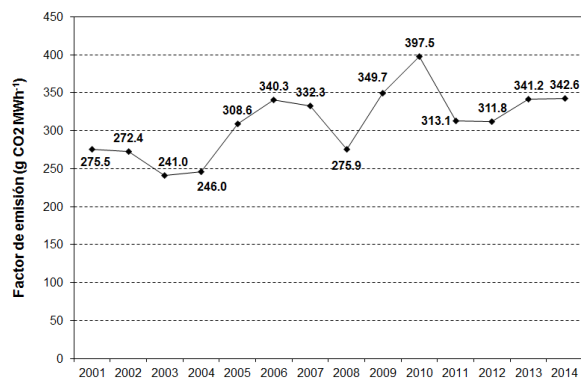


Figura 3: Factor de emisión de CO<sub>2</sub> (g kWh<sup>-1</sup>) para la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014.

### Resultados y Discusión

Con los datos de las Tablas 1 y 2, se calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la generación bruta de electricidad (Tabla 3). Las emisiones totales netas no incluyen los valores de la caña de azúcar, considerando que al ser biomasa, su combustión no genera emisiones netas de CO<sub>2</sub>.

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por cada unidad de electricidad disponible para consumo se establece dividiendo las emisiones totales netas de la Tabla 3, para los valores de producción bruta de electricidad más energía importada de la Figura 2. Los resultados se indican en la Figura 3. Los resultados indican que las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> debido a la generación bruta de electricidad en el Ecuador, en el periodo 2001 - 2014, variaron entre 3050.2 y 8612.3 Gt CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>.

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por cada unidad de electricidad disponible para consumo, varió entre 241.0 y 397.5 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. El mayor valor del factor de emisión corresponde al año 2010, año con el mayor porcentaje de participación de fuentes no renovables (52.2 %). El menor valor (241.0 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>) corresponde al 2003, año con la menor participación de fuentes no renovables (34.5 %). La Agencia Internacional de la Energía [3] reporta el valor medio del factor de emisión para el Ecuador, para el periodo 2008 - 2010, igual a 319.3 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. El valor medio del periodo 2008 - 2010 de la Figura 3, es igual a 329.5 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. Estos valores medios son congruentes, ya que presentan una diferencia de 3.2 %.

Algunos países con el promedio 2008 - 2010 del factor de emisión mayores al Ecuador son: Estonia (1059), India (936), China (790), Grecia (730), Estados Unidos (528), México (447), Chile (398), Argentina (365) [3].

Algunos países con el promedio 2008 - 2010 del factor de emisión menores al Ecuador son: Canadá (183), Colombia (153), Brasil (81), Suecia (22), Noruega (10) [3].

El valor más reciente que se puede deducir en base a la información publicada por la ARCONEL corresponde

al 2014, que presenta un factor de emisión de 342.5 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. En este año los porcentajes de participación fueron del 47.5 %, 49.1 % y 3.3 % para las fuentes renovables, no renovables e importación, respectivamente.

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por el consumo unitario de electricidad es utilizado en varios ámbitos: nacional, regional, local, institucional, familiar, personal; en evaluaciones de indicadores de sustentabilidad, como la huella de carbono, la huella ecológica. Es un parámetro básico en la planificación energética para evaluar el cambio de las emisiones con nuevas configuraciones de la matriz o mix energético.

Para reducir las emisiones por la generación de electricidad, se deben trabajar de manera prioritaria en ahorro y eficiencia energética; así como en la reducción del factor de emisión. Para el segundo punto, se pueden analizar la viabilidad del cambio a tecnológicas más eficientes, como las centrales de ciclo combinado; y el incremento de la generación de fuentes renovables, eligiendo opciones con el mínimo impacto y riesgo ambiental.

### Referencias

- [1] Arconel. 2015. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2014. Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable". Borrador. Quito, Ecuador: 134.
- [2] EIA. 2011. "International Energy Outlook 2011". U.S. Energy Information Administration. Washington - USA: 292.
- [3] IEA. 2013. "IEA Statistics. 2012 Edition. CO2 Emissions From Fuel Combustion. Highlights". International Energy Agency. Paris - France: 125.
- [4] Conelec. 2002. "Estadísticas del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2001". Versión Preliminar. Quito - Ecuador.
- [5] Conelec. 2012. "2011 Estadísticas del Sector Eléctrico Ecuatoriano". Folleto Multianual. Quito - Ecuador.
- [6] IPCC. 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme". Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- [7] USEPA. 1985. "Miscellaneous Data & Conversion Factors". Apendix A.
- [8] USEPA. 1996. "Bagasse combustion in sugar mills". US Environmental Protection Agency. AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 1: External Combustion Sources.
- [9] Conelec. 2003. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2002". Primera Revisión. Quito - Ecuador: 350.
- [10] Conelec. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2003". Quito - Ecuador: 394.

- [11] Conelec. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2004". Quito - Ecuador: 425.
- [12] Conelec. "Estadísticas del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2005".
- [13] Conelec. 2007. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2006". Quito - Ecuador: 310.
- [14] Conelec. 2008. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2007". Quito - Ecuador: 367.
- [15] Conelec. 2009. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2008". Quito - Ecuador: 362.
- [16] Conelec. 2010. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2009". Quito - Ecuador: 388.
- [17] Conelec. 2011. "2010. Boletín Estadístico del Sector Eléctrico Ecuatoriano". Quito - Ecuador: 204.