

GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL CANTÓN SANTA ROSA: REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Jaramillo García, F.

Universidad Técnica de Machala

fjaramillo@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La vida moderna es electro dependiente (Jaramillo García, 2016), por lo que para desarrollarse en los aspectos cotidianos de la misma, generar valor y crecer en un ambiente de confort requiere del suministro de energía eléctrica. Sin embargo en su producción se utilizó indiscriminadamente los recursos naturales no renovables (Comisión de Integración Energética Regional, 2016) como son los provenientes de los combustibles fósiles. Ante este escenario se propuso implementar en vez de una central térmica una central fotovoltaica de igual capacidad instalada. La investigación del presente trabajo fue de naturaleza cuali-cuantitativa, no experimental, descriptiva, explicativa y propositiva y estableció relaciones de causalidad; la misma que fue fundamentada en Investigación Primaria como: investigación de campo dada por visitas a otras centrales fotovoltaicas y entrevistas con expertos, e Investigación Secundaria como: consultas bibliográficas, boletines estadísticos, páginas web y seminarios internacionales (Jaramillo García, 2016). Al final se concluyó que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producida durante la manufactura de los paneles solares de silicio policristalino se compensan en el tiempo aproximado de dos (2) años (Alsema, 2006), que las emisiones asociadas al proceso de manufactura de los paneles solares se reducirán conforme se diversifique el mix energético (Giraudy Arafe, 2014) y por tanto se incremente la participación de las energías alternativas y que al no usar acumuladores de energía y generar durante el día, se estima que las emisiones en el proceso de reciclado se reducen hasta en un 45 % (Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), 2015).

Palabras clave: Fotovoltaica, emisiones, energías alternativas.

ABSTRACT

Modern life is electro-dependent (Jaramillo García, 2016), so that to develop in the everyday aspects of it, generate value and grow in an environment of comfort requires the supply of electricity. However, non-renewable natural resources (Regional Energy Integration Commission, 2016), such as those from fossil fuels, were indiscriminately used. Before this scenario it was proposed to implement instead of a thermal power station a photovoltaic power plant of the same installed capacity. The research of this work was qualitative-quantitative, non-experimental, descriptive, explanatory and propositional and established causal relations; the same that was based on Primary Research as: field research given by visits to other photovoltaic plants and interviews with experts, and Secondary Research as: bibliographic consultations, statistical

bulletins, web pages and international seminars (Jaramillo García, 2016). Finally, it was concluded that the emissions of carbon dioxide (CO₂) produced during the manufacture of the polycrystalline silicon solar panels are compensated in the approximate time of two (2) years (Alsema, 2006), that the emissions associated to the process of manufacturing of solar panels will be reduced as the energy mix diversifies (Giraudy Arafe, 2014) and therefore increases the share of alternative energy and that by not using accumulators of energy and generate during the day, it is estimated that the emissions in the recycling process is reduced by up to 45% (National University of Distance Education (UNED), 2015).

Keywords: Photovoltaics, emissions, alternative energy.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial unido al uso irracional de los recursos naturales no renovables como los combustibles fósiles y su consecuente emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como el Dióxido de Carbono (CO₂), se han visto incrementados. Si comparamos las concentraciones de este gas en la atmósfera que antes de 1950 eran 330 partes por millón (ppm), mientras que para el año 2007 eran de 383,1 partes por millón (ppm) y para el año 2013 de 400 partes por millón (ppm), datos tomados de la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera de Estados Unidos – NOAA (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2004), podemos notar que los incrementos en las emisiones son notorias.

La industria de la generación de la energía eléctrica es una de las más contaminantes debido a la dependencia histórica del petróleo y sus derivados, así como de otros combustibles fósiles tal cual se hace referencia en la (Comisión de Integración Energética Regional, 2016). Por tanto se propone la diversificación de la matriz energética con la incorporación y protagonismo final de las energías renovables de forma que sustituyan y lideren los procesos de generación de electricidad y más aún se plantea el aprovechamiento de los recursos solares, eólicos, hidroeléctricos, mareomotrices, geotérmicos y de biomasa de manera descentralizada y eficiente a través de la generación distribuida como se analizó en el (Comisión de Integración Energética Regional, 2016)

Se propone la reducción de dióxido de Carbono (CO₂) en la industria eléctrica debido a la utilización de energías renovables fotovoltaicas con capacidad instalada de 3 MW construida en el cantón Santa Rosa perteneciente a la provincia de El Oro y cuya energía será evacuada a través del sistema Eléctrico de la Corporación Nacional de Electricidad CNEL Unidad de Negocio El Oro.

De forma que del total generado y que es demandado por los abonados del Área perteneciente al Cantón Santa Rosa- Provincia de El Oro, podamos determinar cuánto dióxido de carbono (CO₂) se deja de emitir a la atmósfera al sustituir parte de la generación térmica por generación fotovoltaica. Es así como podremos analizar el impacto ambiental positivo de utilizar este tipo de tecnologías en sustitución de las centrales térmicas convencionales que utilizan como fuente primaria el petróleo o sus derivados.

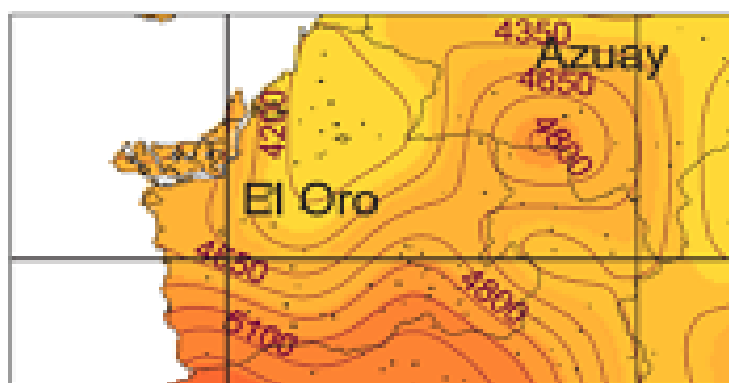
La implementación propuesta es la de una central fotovoltaica de 3 MW en lugar de una térmica, enmarcada en el concepto de la generación distribuida, es decir generación eléctrica descentralizada e inyectada directamente a un alimentador de la subestación Santa Rosa. Lo cual sería un primer paso en el camino de la construcción de un Smart Grid (Redes inteligentes), es decir la integración dinámica de la generación alternativa y la distribución, encaminada a la gestión eficiente de la electricidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Partiendo de que la energía eléctrica puede ser generada a través de centrales fotovoltaicas permitiendo reducir la emisión de dióxido de carbono (CO₂) producida por centrales que utilizan la quema de combustibles fósiles. La investigación será de naturaleza cuali-cuantitativa, no experimental, descriptiva, explicativa y propositiva y establecerá relaciones de causalidad; la misma que está fundamentada en: Investigación Primaria (De campo, y de expertos), Secundaria (Bibliográfica, sitios y páginas web, documentos, estudios, recopilación y análisis de información relevante, boletines estadísticos y seminarios, por lo que se aplicarán entrevistas a expertos y observación en campo de otras centrales fotovoltaicas, recopilación de datos, representación gráfica, descriptiva e interpretación de resultados que se plantean como conclusiones parciales, considerando los objetivos y las hipótesis que nos llevarán a extraer conclusiones y recomendaciones para optimizar la utilización de la energía fotovoltaica evacuada a través del sistema eléctrico de CNEL Unidad de negocio El Oro y que permitirá reducir la generación de energía eléctrica mediante centrales que queman combustibles fósiles.

Los valores promedio de Insolación Global se tomaron del Atlas solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica elaborado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC, 2011), indicado en la figura 1.

Figura 1. Insolación Global Promedio



Fuente: CONELEC (2008)

Del Atlas Solar se determinó la Insolación directa Anual, Insolación difusa Anual e Insolación Global Anual (Valores promedios) del área geográfica en la que se ubica el

cantón Santa Rosa y su zona urbana como se observa en la tabla 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla 1. Insolación Difusa Anual (Valor Promedio) Santa Rosa – El Oro

Valor	Wh/m ² /día
Medio	3600
Medio	3300
Mínimo	1800
Promedio	2900

Tabla 2. Insolación Difusa Anual (Valor Promedio) Santa Rosa – El Oro

Valor	Wh/m ² /día
Medio	2900
Medio	2500
Mínimo	2400
Promedio	2600
Promedio	4700

Tabla 3. Insolación Global Anual (Valor Promedio) Santa Rosa – El Oro

Valor	Wh/m ² /día
Medio	5100
Medio	4800
Mínimo	4200

También se determinó los valores estimados de operación de una central fotovoltaica de capacidad de 3 Megavatios como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4. Valores Estimados de Operación de la Central Fotovoltaica de 3 Mw

Capacidad Nominal	2985	kW
Generación Promedio diaria Estimada	13,33	MWh
Generación Promedio Mensual Estimada	400,00	MWh
Generación Promedio Anual Estimada	4800,00	MWh

Y además se indicó un valor promedio de las emisiones de CO₂ globales de los módulos (International Energy Agency, 2011) cuyas celdas están constituidas de silicio policristalino, silicio monocristalino y capa fina de Teluro de Cadmio como unidad básica de medida, esto se puede observar en la tabla 5 y 6. (Alsema, 2006).

Tabla 5. Fuente elaboración a partir de Fthenakis y Alsema, 2006

Emisiones de CO ₂ e en la producción de módulos	
Tipo de módulo	Emisiones en gramos de CO ₂ e por kWh
Silicio policristalino	37
Silicio monocristalino	45

Capa fina (Cd Te)	12 – 19
-------------------	---------

Tabla 6. Fuente elaboración a partir de Fthenakis y Alsema, 2006

Emisiones de CO ₂ e globales de una instalación fotovoltaica de 1 kW	
Tipo de módulo	Emisiones en toneladas de CO ₂ e
Silicio policristalino	2,06
Silicio monocristalino	2,45
Capa fina (Cd Te)	1,06

De los boletines estadísticos de demanda de potencia tomada de las mediciones realizadas en los alimentadores primarios de la subestación eléctrica Arenillas perteneciente a la CNEL (2016) se obtuvo la tabla 7 que indica la potencia eléctrica activa, reactiva y aparente por alimentador:

Tabla 7. Alimentadores de Subestación Santa Rosa

Alimentador	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAR)	Potencia Aparente (kVA)
Puerto Jelí	2.873,88	539,39	2.924,06
Olmedo	2.698,34	603,62	2.765,03
Bolívar	2.983,95	759,72	3.079,15
Total	8.556,16	1.902,73	8.768,23

Finalmente se elaboró un cuadro de factibilidad (Giraudy, 2014) y comparación entre tipos de centrales generadoras de energía eléctrica como se muestra en la tabla 8.

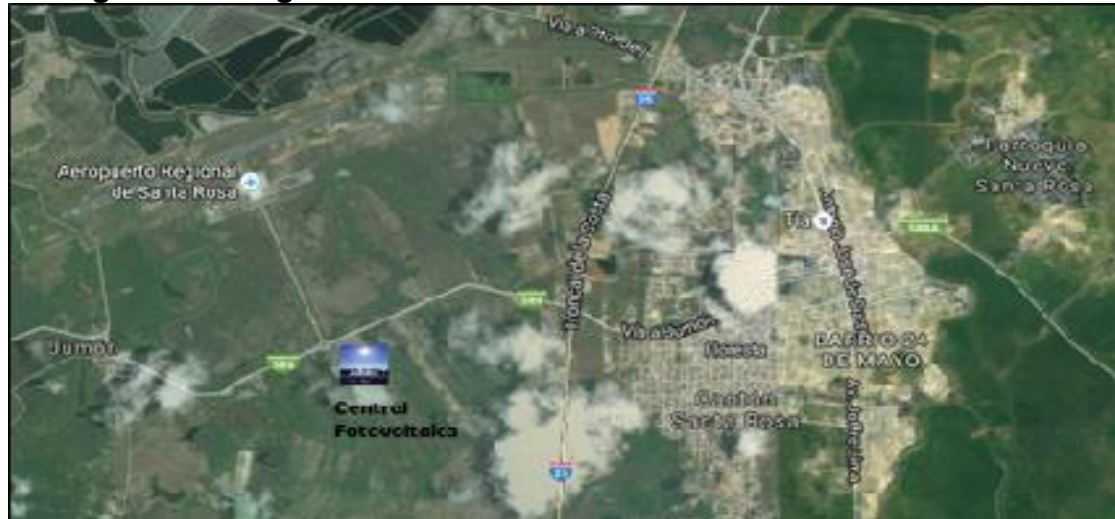
Tabla 8. Alimentadores de Subestación Santa Rosa

Factibilidad									
Tipo	g CO ₂ /kWh	Consumo de agua según tipo de generación eléctrica kg de agua / kWh	Costo de Inversión	Eficiencia	Renovable	Contaminación	Tiempo de Implementación	Fuente primaria	Disponibilidad
Fotovoltaicas	45	10	2.500 \$/kW	10 -22%	SI	No	1 año	Radiación Solar	Alta
Eólicas	25	1	1.700 - 2.500 \$/kW	45%	SI	Visual	2 años	Viento	Mínima
Hidráulicas	41	36	1.200 \$/kW	0,8	SI	Mínima	2 a 4 años	Agua	Mínima
Geotérmicas	170	12-300	2.100 \$/kW	20 - 25%	NO	Columnas de Vapor	2 a 5 años	Calor de la tierra	Mínima
Térmicas	997	78	1.000 \$/kW	0,5	NO	Muy Contaminante	1 año	Combustible Fósil	Alta

Luego para la gestión del ordenamiento territorial y ubicación de la central fotovoltaica (figura 2) se utilizó un sistema de información geográfico (SIG) para realizar una proyección espacial de demanda eléctrica a través de la migración de datos desde el

SIG al software eléctrico especializado, lo cual permitió encontrar respuestas y tomar decisiones respecto a inquietudes que puedan resultar complejas en lo que respecta al centro óptimo de carga eléctrica.

Figura 2. Fotografía Satelital de Ubicación de Central Fotovoltaica



El proyecto se ubica en la zona geográfica 17 sur con coordenadas UTM en x: 345624 en y: 7998886,5, en el cantón Santa Rosa (Google Earth, 2017). La Población del cantón es de aproximadamente 69.000 habitantes, la población directamente afectada es la urbana que es de 48.921 habitantes y la rural indirectamente afectada es de 20.079 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

RESULTADOS

La población del cantón Santa Rosa se ubica en lo que eléctricamente se denomina el circuito Emeloro 1 del sistema eléctrico de la Unidad de Negocio El Oro, al estar alejado del Sistema Nacional de Transmisión (SNT) los niveles de voltaje se ubican fuera del \pm cinco ($\pm 5\%$) que indica la regulación de calidad CONELEC 004/01 para niveles de voltaje de 69.000 V, es por eso que se plantea montar una central térmica cerca del centro urbano lo que a más de regular los niveles de voltaje permite incrementar la disponibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico.

Por ello se propone la incorporación de energías alternativas que ayuden a mitigar la necesidad de demanda eléctrica sin contaminar e impactar negativamente el ambiente, sin embargo la zona de interés no cuenta con recursos hídricos que permita el montaje de una micro central hidroeléctrica y tampoco se cuenta con flujos o corrientes de viento constantes que permitan instalar centrales eólicas, por eso la posibilidad de utilizar energías alternativas cuya fuente primaria sea la radiación solar adquiere prioridad como se puede observar en la tabla No 8 de factibilidad y comparación con otros tipos de centrales eléctricas.

Debe señalarse que en la actualidad el gobierno ecuatoriano ha invertido en generación hidroeléctrica, que permitirá evacuar la energía a través del Sistema Nacional de Transmisión y mediante la construcción de una línea de extra alta tensión

de 500 kV; sin embargo el punto de entrega en el caso del sistema eléctrico El Oro, está ubicado en la Subestación Machala Transelectric, que se encuentra aproximadamente a 30 km de distancia de la Subestación Santa Rosa, por lo que los porcentajes de regulación en barra de 69.000V están cercanos al +- 9%, incumpliendo con la regulación de calidad CONELEC 001/04, que indica que deben estar en las bandas de +-5%. Por estas razones técnicas el servicio público de electricidad no es suministrado en condiciones óptimas de calidad, siendo indispensable la utilización de una central eléctrica bajo el criterio de generación distribuida.

El ilimitado recurso de radiación Solar en nuestro país es de características privilegiadas y haciendo referencia al Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, elaborado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC, 2011) se puede indicar que la Insolación Global Promedio (dado por la suma de la Insolación Directa y la Insolación Difusa), tiene valor máximo de 5.748 Wh/m² /día y un valor promedio 4.574 Wh/m² /día. Particularmente en la Provincia de El Oro se registran valores de Insolación Global Promedio que van desde los 4.200 Wh/m² /día hasta los 5.100 Wh/m² /día, como se muestra en el gráfico No 1.

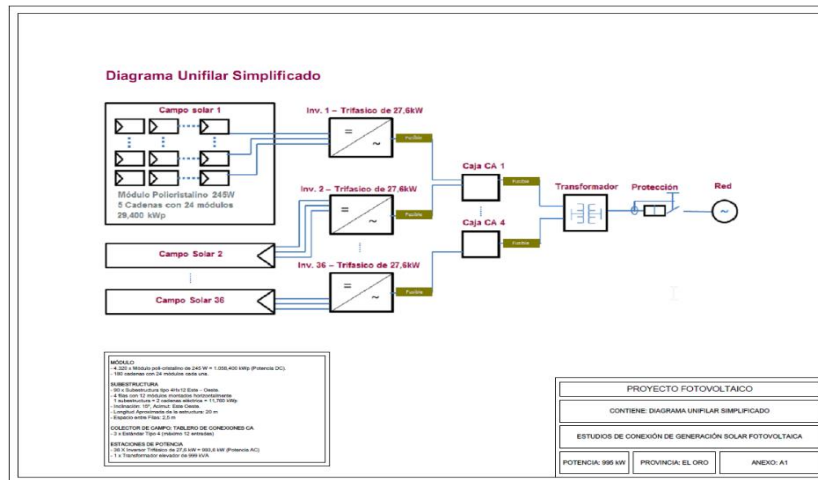
Los valores de radiación directa y difusa que se observan en el Gráfico No 1, son de igual manera muy alentadores, es por ello que se proyecta instalar una central Fotovoltaica de 3.000 kW (2.985 kW efectivos) en la zona del cantón Santa Rosa en general y junto a la vía a Jumón en particular. La ubicación planteada para la Instalación de la central proporciona ventajas relacionadas con la facilidad de acceso y constitución del terreno.

Determinada la posibilidad técnica de conexión de 3.000 kW, a la Red de 13.800 V de la Unidad de Negocio El Oro, en un punto específico, adecuadamente georreferenciado del alimentador Puerto Jelí perteneciente a la Subestación de Reducción denominada subestación Santa Rosa (69/13,8 kV), y mediante los correspondientes análisis de flujos de carga y estabilidad requeridos que avalan su interconexión se procede a exponer el resultado obtenido.

La presente investigación centra su objetivo de estudio en la reducción de dióxido de Carbono (CO₂) en la industria eléctrica debido a la utilización de energías renovables fotovoltaicas mediante la instalación de paneles fotovoltaicos en cascada que generan en conjunto 3.000 kW, estos se instalarán en el cantón Santa Rosa perteneciente a la provincia de El Oro y su energía será evacuada a través del sistema Eléctrico de la Corporación Eléctrica Nacional CNEL, Unidad de Negocio El Oro.

De forma que del total generado y que es demandado por los abonados del área en estudio, podamos determinar cuánto dióxido de carbono (CO₂) se deja de emitir a la atmósfera al sustituir parte de la generación térmica por generación fotovoltaica. La ubicación del proyecto se puede observar en la figura 2 y el diagrama Unifilar Simplificado en la figura 3.

Figura 3. Diagrama Unifilar simplificado de la central fotovoltaica



La evacuación de energía se la realiza a través del alimentador Puerto Jelí, a 13.800 V, hasta la subestación Eléctrica reductora Santa Rosa cuya capacidad es 10/12,5 MVA, con voltaje de 69/13,8 kV. Los alimentadores de la subestación Santa Rosa mediante los cuales se transporta y distribuye el servicio de energía eléctrica al cantón Santa Rosa, tienen en demanda máxima las características indicadas en la tabla No 7. Para una mayor comprensión de la disposición de la central se adjunta distribución de los paneles solares en el terreno del proyecto fotovoltaico propuesto en la figura 4.

Figura 4. Disposición de los paneles solares en el Terreno



Finalmente se procede a determinar el calado de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al instalar una central fotovoltaica de 3.000 kW con una producción media de 4.8000.000 kWh al año y que está compuesta por paneles fotovoltaicos conectados en cascada de unidades modulares constituida por silicio policristalino. Como se explica en la tabla 9.

Tabla 9. Calado de Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂)

En centrales Fotovoltaicas con Paneles de Silicio Policristalino		
Potencia en KW	Emisiones en toneladas de CO ₂	Observaciones
1	2,06	Por unidad de 1 kW
3.000	6.180,00	Capacidad de la central a implementar
Se considera que una central de características similares con producción de 4.800.000 kWh-año producidos por una central de estas características evita 2.976 tCO ₂ al año		
kW	kWh-año	tCO ₂ al año
1	1.600,00	0,992
3000	4.800.000,00	2.976,00
6.180,00 tCO ₂ / (2.976,00 tCO ₂ /año) = 2,08 años		

Si con una potencia de 1 kW las emisiones de este tipo de instalación son de 2,06(tCO₂) toneladas de dióxido de carbono, con una potencia de 3.000 kW las emisiones totales serán de 6.180,0 (tCO₂) toneladas de dióxido de carbono. Adicionalmente, por la experiencia desarrollada en instalaciones de centrales fotovoltaicas de características similares y en el procedimiento utilizado para el cálculo del factor de emisión de CO₂ (CENACE, 2011) se conoce que por cada 16.000 kWh producidos anualmente se evitan 9,92 tCO₂ toneladas de dióxido de carbono. Por ello se concluye que en aproximadamente dos (2) años se podrá compensar las emisiones totales de dicha instalación. Es decir que, para los 3.000 kW, se evitan 2.976 tCO₂. La vida útil de una central fotovoltaica se estima en treinta (30) años, y por tanto los veinte y ocho (28) años restantes serán de energía eléctrica libre de emisiones de dióxido de carbono (Comisión de Integración Energética Regional, 2016).

CONCLUSIONES

- Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producida durante la manufactura de los paneles solares de silicio policristalino se compensan en el tiempo aproximado de dos (2) años, y como la vida útil de una central fotovoltaica es de treinta (30) años, entonces tendremos veinte y ocho (28) años de generación libre de emisiones, es decir generación eléctrica limpia.
- Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producida durante la manufactura de los paneles solares de silicio policristalino se reducirán conforme se diversifique la matriz energética y la participación de las energías alternativas se incremente, lo mismo sucederá durante el reciclaje de los paneles.
- Al no utilizar acumuladores de energía y generar durante el día, se estima que las emisiones en el proceso de reciclado se reducen hasta en un 45 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alsema, E. (2006). *Environmental impacts of PV electricity generation*. Dresden: National Photovoltaic EH&S Research Center.

Cenace (2011). *Factor de Emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador al año 2011*. Quito: CENACE

Corps of Engineers (2005). *Energy trends and their implications for U.S. Army Installations*. Washington D. C.: Army Corps of Engineers.

Comisión de Integración Energética Regional (2016). *IV Seminario Iberoamericano de Energías Renovables de Estado y Perspectivas*. Santiago: Ministerio de Energía.

Programa de Energía Inteligente para Europa (2010). *Energy efficiency in industry*. Sofía: AREA Science Park.

CCA (2004). *Emisiones atmosféricas de las centrales electricas en Amérca del Norte*. Quebec: CCA.

CONELEC (2011). *Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito: Corporación de Investigación Energética.

CNEL (2016). *Mediciones de Potencia Activa, Ractiva y Aparante por Alimentador de Subestación*. Santa Rosa: CNEL.

Giraudy Arafe, C. (2014). *Feasibility of installation of connected photovoltaic systems to grid*. *Energética La Habana*, 35(2).

Google Earth. (2017). Google. Disponible en: <https://bit.ly/1pfxMO1>

Hurtado, J. (2013). *El hidrógeno y la energía*. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI.

INEC. (2010). *Cifras oficiales*. Quito: INEC.

International Energy Agency. (2011). *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments*. New York: Brookhaven National Laboratory.

Jaramillo García, F. (2016). *Generación fotovoltaica en el cantón Santa Rosa*. Disponible en: <https://bit.ly/2lsyzOg>

Resources, C. (2017). *Energy Fact Book*. Montreal: NRCan.

UNED (2015). *Volta*. Disponible en: <https://bit.ly/2lu6hiH>

Westervelt, E. (2015). *Energy trends and their implications for U.S. Army Installations*. Illinois: University of Illinois.