

Plataforma de aprendizaje para dimensionamiento técnico e informativo financiero de proyectos fotovoltaicos en Colombia.

Edwin Francisco Forero García, Magister, Darío Alejandro Segura, Magister, Juan Sebastián Gómez Barbosa.
Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C, Colombia

edwinforero@usantotomas.edu.co, dariosegura@usantotomas.edu.co, juan.gomez@usantotomas.edu.co

ABSTRACT- In this work, a web tool was design in which an information service is provide to the user who, under the conditions of his infrastructure, identifies the energy requirements according to the characteristics and location of the property. In addition, it is practical in terms of the technical design experience of the energy transformation system, since it requires basic and non-technical information, the economic index of the installation of the photovoltaic system in its premises and the rate of return on investment after having established this system, taking into account the benefits and incentives that exist at the national level (Colombia).

Keywords: Photovoltaic system, tax incentives, web application and return.

I. INTRODUCCIÓN

En pleno cuarto del siglo XXI se han observado cambios drásticos en el medio ambiente como cambios de temperaturas bruscos a nivel global, derretimiento de los polos, ciudades que son casi inhabitables debido a su cantidad de CO₂, que producen padecimientos y muertes por problemas respiratorios, se puede culpar a muchos factores como la industrialización, la sobreexplotación de recursos, la sobrepoblación, etc. Es por esto que la mayoría de naciones en el mundo se han comprometido en el acuerdo de Paris, a reducir la contaminación para que en el año 2020 no suba la temperatura global más de 1.5°C [1]; al observar esta problemática, se encontró una posible aplicación para mitigar el calentamiento global, el cual consiste en desplazar las generadoras de energía eléctrica convencionales que se basan en recursos finitos como las hidroeléctricas, termoeléctricas, gas etc. Por generadores de energías renovables las cuales son inagotables, como lo es la generación de energía por sistemas fotovoltaicos, la cual basa su funcionamiento por la luz de incidencia solar, sabiendo que está siempre está presente como en el caso de la atracción gravitacional de la luna y el sol, y el calor interno de la tierra [2].

En el caso de Colombia se observa que la generación de energía eléctrica, se realiza a partir de fuentes de generación de energía finitas (no renovables), como los son las hidroeléctricas y las termoeléctricas que son las más importantes en Colombia, como se observa en las estadísticas de la UPME (unidad de planeación minero energética) y que se ve contextualizado en la tabla 1 y en la figura 1 [3], el cual es un estudio que se realizó en marzo del 2017; es necesario tener en cuenta que estas dos formas de generar energía poseen problemas medioambientales, por su producción de metano como lo es en el caso de las

hidroeléctricas (70% de la capacidad de generación en el país), que debido al traslado de corredores agua (cause del agua por una altura considerada) produce la muerte de los organismos vivos y la materia orgánica [4], mientras en el caso de las termoeléctricas (29%) que al realizar el proceso de combustión generan una emisión de CO₂ según la proporción del combustibles fósil (petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo)[5].

Tecnología/Recurso	Capacidad Efectiva Neta	
	[MW]	Capacidad Efectiva Neta [%]
ACPM	931.0	5.57%
AGUA	11,679.6	69.92%
BAGAZO	128.7	0.77%
BIOGAS	4.0	0.02%
BIOMASA	0.0	0.00%
CARBON	1,352.0	8.09%
COMBUSTOLEO	187.0	1.12%
GAS	2,093.0	12.53%
JET-A1	46.0	0.28%
MEZCLA GAS - JET-A1	264.0	1.58%
VIENTO	18.4	0.11%
Total general	16,703.6	100%

Tabla 1. Capacidad instalada por tecnología/recurso.

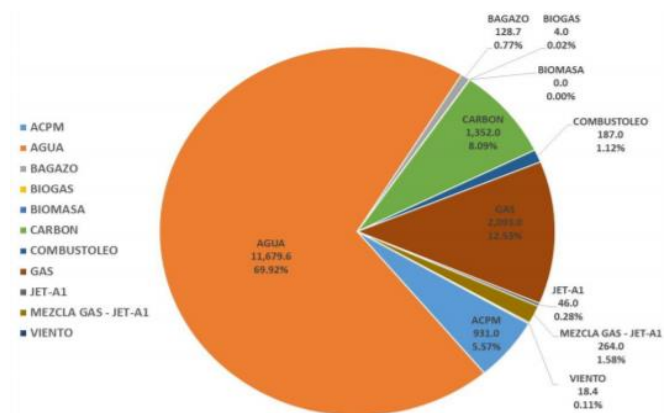


Figura 1. Participación por tecnología en la matriz eléctrica.

Teniendo en cuenta que la implementación de sistemas energéticos alternativos está a la vanguardia del interés del público en general, se buscara aportar a nivel local mediante una herramienta web (página web) la cual tendrá su propio dominio, prestando un servicio de información basado en la generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos, el cual exprese la viabilidad financiera al usuario (siendo una persona natural o jurídica), según las necesidades y medios que este disponga, teniendo como referencia la ley 1715.

II. CONTEXTO

Teniendo en cuenta la ubicación de Colombia (norte de la línea ecuatorial), este es un país con características tropicales por ende no posee estaciones, gracias a esto el país tiene ventajas comparado con países con estaciones, ya que las variaciones de temperatura y radiación solar son similares todos los días del año, por ende, hay mayor eficiencia en cuanto al uso de sistemas fotovoltaicos, ya que esta basa su principio de generación según las variables mencionadas anteriormente [6].

- Sistema Solar fotovoltaico

La generación de energía alternativa fotovoltaica tiene como base un sistema que posee componentes caracterizados para un funcionamiento específico según la configuración y necesidad para el cual se va a implementar este. Estas configuraciones pueden ser técnicas para resolver problemas como: Combustible, calentamiento de agua, edificios, agricultura, industria y electricidad [7].

Para el desarrollo de esta investigación se tendrá en cuenta el uso de sistemas fotovoltaicos para generación de energía eléctrica, estos sistemas poseen los siguientes componentes:

1. **Paneles fotovoltaicos:** Los paneles fotovoltaicos son convertidores de energía luminosa en electricidad. Por definición, son un conjunto de fotocélulas conectadas entre sí para generar electricidad cuando se exponen a la luz. están hechos generalmente de silicio -el segundo material más abundante en la tierra [8].
2. **Regulador:** tiene la función de regular el paso de la electricidad desde los módulos hasta los puntos de consumo o a la batería, garantizando una larga vida útil para la misma. El regulador controla la tensión (v) y la carga (I), indica cuando la batería está en proceso de carga, cuando está cargada totalmente y la protege contra la carga excesiva [9].
3. **Inversor:** Se encarga de transformar la corriente continua obtenida de los paneles, en corriente alterna, ya que este es el tipo de corriente que usan los aparatos de usos cotidianos. También, el inversor es el encargado de proteger el sistema de una sobrecarga, exceso de temperatura, batería baja e inversión de polaridad [10].
4. **Batería:** almacena la energía eléctrica generada que no está siendo utilizada por el consumidor, ya que la variación solar es variable y no podría garantizarse, en el caso de ausencia de este elemento, el suministro de energía en todo momento [11].
5. **Estructura Fija:** se puede optar por ubicar los paneles en estructuras fijas, con una orientación e inclinación óptima. [12]
6. **Cables de conexión:** representan los componentes indispensables para el transporte de la energía eléctrica

entre los distintos bloques que integran un sistema fotovoltaico. [13]

- Ley 1715 de 2014:

Teniendo en cuenta la importancia de establecer generación de energía alternativa para el cuidado del medio ambiente, el gobierno colombiano busco promover este tipo de generación para todo tipo de usuarios, con incentivos tributarios los cuales están descritos en la ley [14], en esta se menciona lo siguiente:

- **Artículo 11:** Las personas que deban declarar renta y presenten algún tipo de inversión en fuentes de energía no convencionales (acá se incluyen los sistemas fotovoltaicos), tendrán una reducción de su renta en el cincuenta por ciento (50%) por los cinco años siguientes al año agradable en que hayan realizado la inversión, del valor total de la inversión realizada.

- **Artículo 12:** Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales, así como la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos del IVA (impuesto al valor agraddo)

- **Artículo 13:** Las personas naturales o jurídicas que a partir de la vigencia de la presente ley sean titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes. Este beneficio arancelario será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos

- **Artículo 14:** La actividad de generación a partir de FNCE, gozará del régimen de depreciación acelerada. La depreciación acelerada será aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin, a partir de la vigencia de la presente ley. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual. La tasa podrá ser variada anualmente por el titular del proyecto, previa comunicación a la DIAN, sin exceder el límite señalado en este artículo, excepto en los casos en que la ley autorice porcentajes globales mayores.

III. PROCEDIMIENTO PARA CREACION DE LA HERRAMIENTA WEB

Al observar las ventajas que hay en la implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia, se plantea resolver un problema que es la dificultad de poder estimar cuánto cuesta establecer un sistema fotovoltaico para cualquier tipo de persona en Colombia, además contribuir a este tipo de cultura ya que por la falta de información se piensa que estos sistemas no son viables financieramente desde cualquier perspectiva.

De esta manera se realizó una base de datos teniendo en cuenta todos los componentes que intervienen en este tipo de sistemas, también se tuvo en cuenta la mano de obra necesario para establecer este y los precios se sujetaron a los valores actuales de empresas a nivel nacional teniendo en cuenta la ley 1715 y sin tener en cuenta esta para mostrarle al usuario la eficiencia en cuanto a lo financiero de esta ley; al obtener esto se realizó un algoritmo el cual permita mostrar una interfaz gráfica en un dominio web (dominio activo durante 4 meses en el periodo de agosto-noviembre del 2017), la cual pedirá los siguientes datos para poder realizar la estimación del sistema:

1. Energía eléctrica a suplantar (potencia requerida (W)).
2. Promedio de consumo mensual (KWh).
3. Promedio de pago mensual de luz (COP).
4. Conexión a la red eléctrica (on grid-off grid).
5. Tipo de persona (jurídica o natural).
6. Valor impuesto de renta anual (persona jurídica).

La mayoría de estos datos están disponibles para cualquier tipo de persona en su recibo de luz de su dominio, de esta manera será de fácil uso esta aplicación.

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

Al realizar la estimación según los datos que la persona ingresa, el sistema genera una tabla de información la cual posee tres tipos de "cotización" basada en tres diferentes paneles solares según la capacidad (100 W, 270 W y 320 W), mostrando el costo de la inversión total y el tiempo de recuperación en años de esta inversión, teniendo en cuenta la ley 1715 y sin tenerla en cuenta; de esta manera se puede observar una estimación real del costo beneficio al implementar sistemas fotovoltaicos para cualquier tipo de persona.

Se buscó aplicar este estudio a un caso en el que una persona jurídica desea instaurar un sistema fotovoltaico que funciona conectado a la red, sin baterías, en el cual necesita tener una sustentación de 10kW/h en el día, teniendo un gasto de 100.000KW/h de promedio en el consumo mensual, pagando \$40'000.000 COP (equivalente a \$13.000 USD) a la empresa que le suministra energía y pagando un impuesto de renta de \$50'000.000 (equivalente a \$18.000 USD).

De esta manera como se muestra en la tabla (2) y en la figura (2), la inversión es viable en paneles solares de 270 y 320 W/h y su retorno financiero es en el tercer año, después de haber establecido el sistema; teniendo una ganancia económica con respecto a lo que paga por el servicio de luz y su impuesto de renta en los siguientes años, del tercero al séptimo año, observando que se establecerá las ganancias en el séptimo año y se podrá tener una infraestructura netamente auto sostenible hasta los 20 años después de haber montado el sistema, sin tener en cuenta variables como el mantenimiento de los elementos.

Panel	Costo de Inversión	Tiempo de recuperación	Costo de Inversión (Ley1715)	Tiempo de recuperación (Ley1715)
Panel de 100w	\$81,781,000.00	16	\$86,242,610.00	4
Panel de 270w	\$55,063,600.00	11	\$44,601,516.00	3
Panel de 320w	\$54,637,400.00	11	\$44,256,294.00	3

Tabla 2. Información de la implementación costo-beneficio

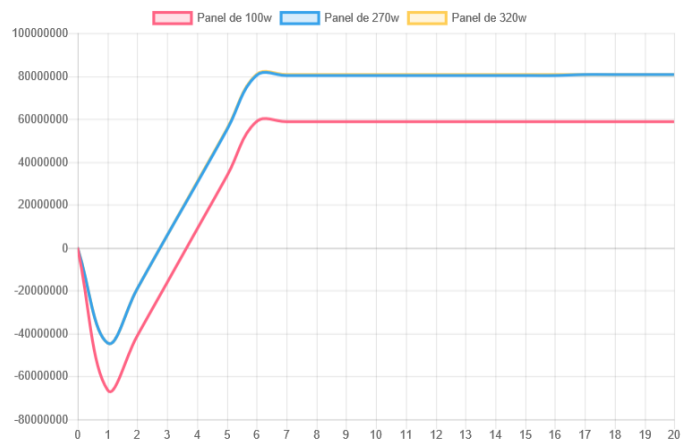


Figura 2. Simulación de la estimación Costo vs tiempo.

V. CONCLUSIONES

- Como se puede observar en el estudio de la UPME [3], la generación de energía eléctrica solar no aparece en el estudio, esto es debido a la poca implementación a nivel nacional de este tipo de generación, por ende, se observa que la implementación de este tipo de aplicaciones es necesaria en un país como Colombia que basa su auto sostenimiento eléctrico bajo fuentes de energía convencionales que no contribuyen al medio ambiente.
- Cabe resaltar que la masificación de esta implementación sería una solución muy eficiente ya que a nivel nacional según el banco mundial el 2.2% de la población a nivel nacional no tiene acceso a la electricidad [15], teniendo como consecuencia un bajo desarrollo a nivel nacional, ya

que las dificultades de acceso para conectar la red eléctrica nacional en algunos lugares y la viabilidad financiera para realizar esto no es factible, haciendo la aplicación de sistemas fotovoltaicos un gran complemento para las ZNI (zonas no interconectadas).

- Se concluyó que cuando es más robusto el sistema y su inversión de capital inicial sea mayor, la recuperación y ganancia a futuro es más rentable que en sistemas de baja capacidad.
- Se demostró que los incentivos de la ley 1715 en realidad tienen un efecto económico positivo para impulsar la generación de energías renovables.
- Se observa que los sistemas fotovoltaicos cuando son más robustos en cuanto a su generación de energía, son más viables financieramente.
- Al interpretar esta ley, se observa que es necesario que las normativas y leyes para este tipo de procesos avancen y se actualicen, ya que le falta esclarecer que se puede hacer en cuanto a la energía que no se usa y se genera en los sistemas fotovoltaicos de carácter privado, teniendo en cuenta los casos que existen en otros países como Alemania en el cual, por medio de contadores bidireccionales, se puede vender la energía generada y no usada a la red de distribución.
- Se observó que, al realizar varios ejercicios reales en la herramienta, la viabilidad financiera para implementar este tipo de sistemas debido a los altos costos que tienen actualmente los elementos que componen estos sistemas, son viables en la mayoría de los casos para personas jurídicas que poseen una larga extensión para montar paneles solares en sus dominios y que su impuesto de renta sea de un valor alto para observar un comportamiento positivo y declarar viable financieramente la inversión.
- El sol es la fuente de casi toda nuestra energía (con excepción de las fuentes radiactivas y las mareas) y, seguirá siendo la más importante y Colombia es un país con una ubicación estratégica para el aprovechamiento de la energía solar [16].

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Naciones Unidas. 2015. Acuerdo de París. Recuperado de: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf, artículo 1 punto a.

[2] M. Ortega. Energías Renovables. España: ITP-Paraninfo, 2002, pp. 109-151.

[3] Sistema de información eléctrico colombiano. 2017. Capacidad energética en Colombia. Recuperado de: <http://www.siel.gov.co/>.

[4] Paucar Samaniego, M. A. (2014). Estudio de emisiones de metano producidas por embalses en centrales hidroeléctricas en Ecuador (Master's thesis, Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile).

[5] Cárcamo, P., Cortés, M., ORTEGA, L., SQUEO, F. A., & Gaymer, C. F. (2011). Crónica de un conflicto anunciado: Tres centrales termoeléctricas a carbón en un hotspot de biodiversidad de importancia mundial. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 171-180.

[6] Chenming Hu, Richard M. 1983. *Solar Cells*, University of California, Berkeley, pp 60-68.

[7] M. Rodot, MARCOMBO S.A. 1985. *Energía Solar Fotovoltaica*, Barcelona, pp 9-12.

[8], [11] A. Madrid. *Curso de Energía Solar (Fotovoltaica, Térmica y Termo Eléctrica)*. Madrid: Mundi-prensa Ya. Madrid Vicente Ediciones, 2009, primera edición, pp. 52-78.

[9] E. Ubelacker. *Energía*. Bogotá: Panamericana Editorial Ltda., primera edición, 2012, pp. 28-33.

[10] J. Carta, C. Roque, A. Colmenar, M. Castro, E. Collado. *Centrales de Energías Renovables. Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Pearson, Uned, 2013, segunda edición. Pp. 251-353.

[12] J. I. Wilson. *Energía Solar*. Madrid: Editorial Alhambra, S.A., primera edición española, 1982, pp. 142-190.

[13] P. Reyes. *La Energía, Motor del Mundo*. Bogotá: AF & M Producción Gráfica S.A.S., primera edición, 2014, pp.146-149.

[14] Unidad de planeación minero energética. 2014. Ley No 1715, capítulo 3 artículo del 11 al 14. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

[15] Banco mundial. 2018. Acceso a la electricidad (% de población). Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS>

[16] N. Quadri. *Energía Solar*. Buenos Aires: Librería y Editorial Alsina, sexta edición actualizada, 2010, pp. 75-91.

[17] López, Yinnette Adriana Fajardo; Pedraza, Rafael Andrés Rodríguez; García, Edwin Francisco Forero; Análisis de auto-abastecimiento energético de edificaciones existentes., Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2012), 2012, LACCEI INC.

[18] García, Edwin Francisco Forero; Pinzón, Carlos Andrés Torres; Burgos, Diego Alexander Tibaduiza; Energy Efficiency Analysis in Static Converters using IEEE 1459, VI International

Symposium on Energy & Technology Innovation, 2014, Universidad del Turabo. (LACCEI'2014), 1, 2013, LACCEI INC.

[19] Leon, Juan Guillermo; García, Edwin Francisco Forero; Barbosa, Juan Sebastian Gomez; Herramienta para establecer paneles fotovoltaicos en Colombia, Fourteen Latin American and Caribbean Conference, 2017, LACCEI INC.