



Incentivos tributarios para una evaluación financiera en proyectos de generación de energía

Yohan Andrés Pineda Martínez
Pedro Alejandro Álzate Restrepo

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Eficiencia Energética

Tutor
Fernando Villada Duque, Doctor (PhD) en Ingeniería Eléctrica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Eficiencia Energética
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Referencia

- [1] Y. A. Pineda Martinez y P. A. Álzate Restrepo, “Incentivos tributarios para una evaluación financiera en proyectos de generación de energía”, Trabajo de grado especialización, Especialización en Eficiencia Energética, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.

Estilo IEEE (2020)



Centro De Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Pedro León Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este título de postgrado se lo dedicamos a nuestras familias por apoyarnos siempre y en todo momento, por aguantar nuestras traspasadas realizando los trabajos y nuestro malgenio a veces por el estrés que nos generó realizar la especialización, pero por ellos y para ellos se lograron cosechar todos los frutos esperados. A nosotros mismos por sacar adelante este nuevo título con tanto sacrificio y con tanto amor por lo que hacemos.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por darnos las fuerzas y la sabiduría de sacar adelante este nuevo estudio, a los profesores que fueron parte de este proceso y a nuestro tutor por las asesorías brindadas y siempre sacar el tiempo para resolver dudas referentes a la elaboración de este trabajo de grado. Finalmente a la Universidad de Antioquia por brindarnos la oportunidad de tener un título de pregrado y ahora obtener un título de postgrado, haciéndonos unos profesionales cada vez más competentes y sobre todo hacernos mejores personas con todas las enseñanzas vividas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
III. JUSTIFICACIÓN.....	11
IV. OBJETIVOS	12
<i>A. Objetivo general</i>	12
<i>B. Objetivos específicos</i>	12
V. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
VI. HIPÓTESIS.....	12
VII. MARCO TEÓRICO	13
<i>A. Energía solar fotovoltaica:</i>	13
<i>B. Incentivos tributarios:</i>	15
<i>C. Factores económicos:</i>	16
VIII. METODOLOGÍA	18
IX RESULTADOS.....	19
<i>A. Caso de estudio:</i>	19
<i>B. Análisis de resultados:</i>	20
X. DISCUSIÓN.....	22
XI. CONCLUSIONES	24
XII. RECOMENDACIONES.....	25
XIII. TRABAJOS FUTUROS.....	25
REFERENCIAS	26
ANEXOS.....	27

LISTA DE TABLAS

TABLA I.....	19
TABLA II Valores de entrada del proyecto.....	20
TABLA III Resultados financieros sin incentivos tributarios.....	20
TABLA IV Resultados financieros con incentivos tributarios.....	21

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Capacidad instalada FV en el año 2020.....	14
Fig. 2. Capacidad instalada acumulada en el mundo.	14
Fig. 3. Precio de bolsa nacional.....	21
Fig. 4. Valor de la TRM en el tiempo.	22
Fig. 5. Variación del VPN con respecto a la TRM.	23
Fig. 6. Variación del LCOE con respecto a la TRM.	23

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

UdeA	Universidad de Antioquia
SSFV	Sistema solar fotovoltaico
FV	Fotovoltaico
MWp	Mega watio pico
FNCER	Fuentes no convencionales de energía renovable
FNCE	Fuentes no convencionales de energía
UPME	Unidad de planeación minero-energética
LCOE	Costos nivelados de energía
WACC	Costo promedio ponderado
VPN	Valor presente neto

RESUMEN

Este trabajo plantea una evaluación financiera de proyectos de energía a partir de fuentes no convencionales de energía renovables (FNCER) especialmente energía solar bajo los lineamientos de la Ley 1715. La Ley 1715 propone incentivos tributarios para iniciativas de fuentes de energías no renovables, tales como deducciones de hasta el 50% sobre la inversión a través del impuesto de renta, exención del IVA, exención arancelaria y depreciación acelerada de activos. Puerto Boyacá, Colombia, fue seleccionado para la implementación del sistema solar fotovoltaico, y se estimó mediante software computacional el potencial de generación de energía eléctrica. Los cálculos del Costo Nivelado de Energía (LCOE) y la tasa interna de retorno (TIR), fueron ajustadas para implementar los incentivos tributarios de la Ley 1715. Los resultados muestran reducciones importantes en el LCOE y aumento en la tasa interna de retorno al implementar los beneficios de dicha ley.

Palabras clave — **Incentivos tributarios, evaluación financiera, eficiencia energética, fuentes no convencionales de energía renovables.**

ABSTRACT

This work proposes a financial evaluation of energy projects from non-conventional sources of renewable energy (FNCER) especially solar energy under the guidelines of Law 1715. Law 1715 proposes tax incentives for initiatives of non-renewable energy sources, such as deductions of up to 50% on the investment through income tax, VAT exemption, tariff exemption and accelerated depreciation of assets. Puerto Boyacá, Colombia, was selected for the implementation of the photovoltaic solar system, and the potential for generating electricity was estimated using computer software. The calculations of the Levelized Cost of Energy (LCOE) and the internal rate of return (IRR) were adjusted to implement the tax incentives of Law 1715. The results show important reductions in the LCOE and increase in the internal rate of return when implementing the benefits of this law.

Keywords — Tax incentives, financial evaluation, energy efficiency, non-conventional sources of renewable energy.

I. INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la necesidad de buscar nuevas alternativas de generación de energía se ha tenido gran problema, el cuál es el alto costo de inversión para desarrollar estas nuevas alternativas. El gobierno colombiano en su compromiso de disminuir el impacto ambiental ha implementado unas leyes que brindan beneficios tributarios y contables para los inversionistas en estas tecnologías de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales de energía renovable [1] [3]. La eficiencia de los diferentes esquemas de incentivos tributarios para el desarrollo de sistemas de generación con fuentes de energía renovables fue estudiada en [3]; donde se concluyó que un sistema de tarifas reguladas es más eficiente que un sistema de licitación, pero destaca el interés teórico de la negociación de certificados verdes que debe ser confirmado en la práctica, dada la influencia de las estructuras y reglas del mercado en el desempeño de este tipo de proyectos.

La energía solar fotovoltaica (FV), como otra fuente de energía renovable, ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años. Una de las razones que explican su crecimiento es la drástica caída del precio de los paneles solares, como muestra de la creciente competitividad de esta fuente de energía. No obstante, los escépticos atribuyen el rápido crecimiento de la energía solar fotovoltaica, principalmente a las generosas políticas públicas en forma de incentivos tributarios [4].

Este documento presenta un análisis del efecto de los beneficios tributarios en el análisis financiero de un proyecto de generación de energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico de 16,4 MWp. En el momento de analizar los resultados obtenidos brindarán a los inversionistas en este tipo de proyectos un punto de vista financiero que les ayude a la toma de decisiones.

El alto aumento del costo de la energía eléctrica plantea unos mejores resultados financieros, mediante los cálculos realizados en este documento se pueden corroborar estas hipótesis planteadas antes del análisis.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el desarrollo de proyectos de eficiencia energética y generación de energía la principal problemática es el alto costo de inversión y el alejamiento de este tipo de proyectos con la línea de negocio de las empresas que podrían invertir en su desarrollo, por lo que un buen modelo financiero permitiría la aceptación en una junta directiva del proyecto.

Para ayudar a mejorar la viabilidad financiera de los proyectos de eficiencia energética y de generación de energía se pueden utilizar los incentivos tributarios que el gobierno colombiano ha venido brindado para este tipo de proyectos con el fin de impulsar su desarrollo. Teniendo una base clave de cómo acceder y cómo utilizar estos beneficios tributarios se tendría un mejoramiento en el flujo de caja de los proyectos aumentando con esto la atracción de inversionistas a este tipo de proyectos aumenta lo cual nos muestra el interés de los gobiernos en la disminución del impacto ambiental con la promoción de este tipo de proyectos que aporta en esta disminución.

En este trabajo se realizará la evaluación financiera de un proyecto de generación de energía mediante un sistema solar fotovoltaico de 16,4 MWp que será instalado en el municipio de Puerto Boyacá, el análisis financiero se realizará para un flujo de caja sin tener en cuenta los incentivos tributarios y un flujo de caja teniendo en cuenta los incentivos tributarios brindados por la normatividad colombiana, una vez se realice la evaluación financiera en ambos casos se realizará un análisis de los resultados obtenidos.

III. JUSTIFICACIÓN

Este tema de análisis es importante debido a la importancia de un análisis financiero que tenga en cuenta el impacto de los beneficios tributarios y contables que brinda el gobierno colombiano. Con el aumento del costo de la electricidad los proyectos de generación de energía mediante FNCER tiene un mayor interés en el país por lo que este texto aportará un punto de vista que permita la toma de decisiones favorables acerca de las inversiones en este tipo de proyectos, lo que plantea un aumento en la ejecución de proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables que aportaría a una diversificación de la matriz energética colombiana lo cual aumentaría la confiabilidad del sistema eléctrico colombiano.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Analizar el efecto de los incentivos tributarios para las energías renovables en Colombia en la viabilidad financiera de proyectos de generación de energía eléctrica.

B. Objetivos específicos

Investigar los beneficios de los incentivos tributarios para los proyectos de generación con fuentes renovables no convencionales de energía.

Realizar la evaluación financiera de un proyecto seleccionado donde se evalúe el efecto de los incentivos tributarios en la viabilidad de este.

Determinar el efecto de los incentivos tributarios vigentes en Colombia para el proyecto seleccionado.

V. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El efecto de los incentivos tributarios presentes en la normatividad colombiana en la ejecución de proyectos de generación de energía mediante fuentes no convencionales de energía renovable es una incógnita debido a la poca información presente en la literatura acerca de la utilización de estos en la realización de la evaluación financiera de los proyectos.

VI. HIPÓTESIS

Como resultados del análisis financiero del proyecto se espera una mejoría en los valores financieros cuando se aplican los incentivos tributarios, esto debido a que se permite la disminución de cobros tributarios que brinda unos mejores números en el flujo de caja del proyecto.

VII. MARCO TEÓRICO

A. *Energía solar fotovoltaica:*

La energía solar fotovoltaica es el proceso de convertir la luz proveniente del sol directamente en electricidad mediante celdas solares. Hoy en día es una alternativa renovable cada vez más importante y de rápido crecimiento a la generación de electricidad con combustibles fósiles convencionales, pero en comparación con otras tecnologías de generación de electricidad, es relativamente nueva, con los primeros dispositivos fotovoltaicos prácticos demostrados en la década de 1950 [5].

En la década de 1980 la investigación sobre las celdas solares de silicio dio sus frutos y las celdas solares comenzaron a aumentar su eficiencia. En 1985 las celdas solares de silicio alcanzaron el hito del 20 % de eficiencia. Durante la siguiente década, la industria fotovoltaica experimentó tasas de crecimiento constantes de entre el 15 % y el 20 %, impulsadas en gran medida por el mercado de suministro remoto de energía. El año 1997 vio una tasa de crecimiento del 38%. Este crecimiento ha continuado durante décadas, y hoy en día las celdas solares son reconocidas no solo como un medio para proporcionar energía y una mejor calidad de vida a quienes no tienen acceso a la red, sino que también son un medio para alimentar la red [5].

La Agencia Internacional de la Energía acaba de publicar su última fotografía (Snapshot report) del sector fotovoltaico mundial. Según esa instantánea, el parque FV global tiene ahora mismo una potencia total acumulada de unos 760.400 megavatios (MW). En los doce meses de 2020, el mundo ha instalado nada más y nada menos que 139.000 MW de nueva potencia solar fotovoltaica (FV). Al menos veinte países añadieron el año pasado a sus respectivos parques nacionales más de mil megavatios FV de nueva potencia. En las figuras 1 y 2 se muestra la capacidad instalada de los 10 países líderes en instalaciones solares fotovoltaicas para el año 2020 y el aumento de la capacidad FV instalada en GW en el mundo por acá año [6]:

Potencia instalada en 2020				Potencia acumulada a diciembre de 2020			
1		China	48,2 GW	1		China	253,4 GW
(2)		European Union	19,6 GW	(2)		European Union	151,3 GW
2		United States	19,2 GW	2		United States	93,2 GW
3		Vietnam	11,1 GW	3		Japan	71,4 GW
4		Japan	8,2 GW	4		Germany	53,9 GW
5		Germany	4,9 GW	5		India	47,4 GW
6		India	4,4 GW	6		Italy	21,7 GW
7		Australia	4,1 GW	7		Australia	20,2 GW
8		Korea	4,1 GW	8		Vietnam	16,4 GW
9		Brazil	3,1 GW	9		Korea	15,9 GW
10		Netherlands	3 GW	10		UK	13,5 GW

Fig. 1. Capacidad instalada FV en el año 2020.

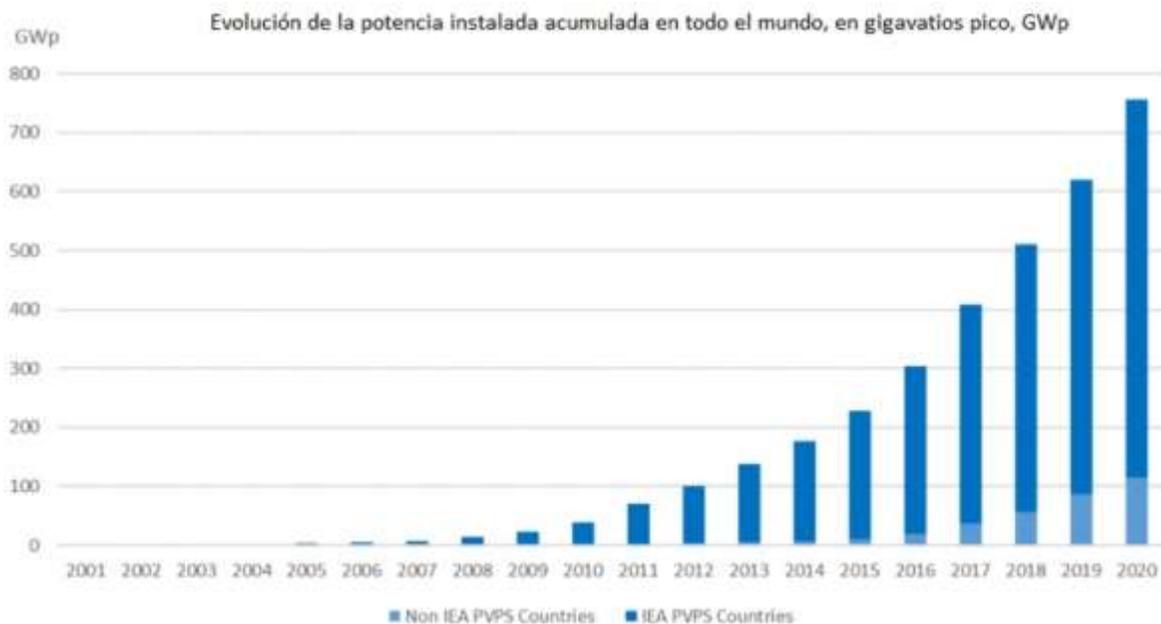


Fig. 2. Capacidad instalada acumulada en el mundo.

La industria de la energía solar en Colombia sigue estando por detrás de muchos otros países latinoamericanos, especialmente Brasil y Chile. Sin embargo, los elevados niveles de radiación solar y un régimen fiscal favorable para los proyectos renovables deberían permitir que la energía solar a gran escala desempeñe un papel clave en la senda de la descarbonización del país. En Colombia hay instalada una capacidad de alrededor de 1,46GW en plantas solares fotovoltaicas

para el año 2021. Dada la ubicación de Colombia cerca de Ecuador, el país tiene altos niveles de radiación solar. La unidad de planeación minero-energética UPME, dice que Colombia podría generar 40GW de energía solar, lo que la hace atractiva para invertir en el desarrollo de instalaciones solares fotovoltaicas a gran escala [7].

Por su parte, los precios de los sistemas fotovoltaicos han seguido el comportamiento decreciente de los precios de los módulos solares, pero a un ritmo más lento. Esto se debe particularmente a que la participación de los costos no técnicos ha aumentado de forma gradual, a pesar de la reducción generalizada de costos. De esta forma, los componentes técnicos como módulos, inversores, cables, etc. han tenido precios similares en varios lugares del mundo y, como se vio anteriormente, se han reducido en gran medida. Sin embargo, los precios de los sistemas fotovoltaicos instalados aún varían significativamente según el tamaño, el tipo de instalación y el país donde se instala [8], lo que genera incremento en costos y hace cada vez más difícil generalizar los resultados. A pesar de estos avances, el costo nivelado de la generación de electricidad mediante tecnología solar sigue siendo elevado, no solo en comparación con las tecnologías convencionales, sino también con recursos renovables como la energía hidroeléctrica y la eólica [9].

B. Incentivos tributarios:

Inicialmente mediante la ley 1715 de 2014 [1] y actualmente con la ley 2099 de 2021 [2] se promueve la inclusión de fuentes no convencionales de energía (FNCE) como mecanismo para la diversificación de las tecnologías destinadas a la electrificación de las ZNI y reorientación de la concepción y las estrategias que guían los planes de energización rural. Con estas leyes se tienen unos beneficios tributarios y económicos que permiten que estos proyectos tengan una mayor viabilidad para las diferentes empresas colombianas y para los inversionistas del extranjero. Estos beneficios son los siguientes:

- *Deducción de renta:* Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir anualmente hasta el 50% del valor de las inversiones en un periodo no mayor a 15 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión. El valor

para deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente [1] [2].

- *Depreciación acelerada:* Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo la cual no será mayor al 33.33% anual como tasa anual de depreciación [1] [2].
- *Exclusión de bienes y servicios de IVA:* Exención del IVA a los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión de FNCE incluyendo equipos de medición inteligente [1] [2].
- *Exención de gravámenes arancelarios:* Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con FNCE [1] [2].

C. Factores económicos:

Para realizar un análisis de la viabilidad financiera de los proyectos de inversión en sistemas de generación con FNCE se deben evaluar los siguientes factores económicos:

- *Costo nivelado de electricidad (LCOE):* El LCOE es una de las métricas más comunes para evaluar la viabilidad de los proyectos de generación de electricidad. Permite comparar los costos de las diferentes tecnologías a lo largo de su vida útil. El LCOE se define como el precio unitario de la energía (\$/kWh) que “nivelan o balancean” los costos del proyecto a lo largo de su vida útil. La siguiente ecuación nos permite realizar su cálculo [10]:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{T=1}^n \frac{C_T}{(1+i)^T}}{\sum_{T=1}^n \frac{E_T}{(1+i)^T}} \quad (1)$$

Donde:

I_0 : es el costo de la inversión inicial (USD).

C_t : son los costos operativos anuales (USD).

E_t : es la cantidad de energía producida en un año(kWh).

- i: es la tasa de descuento (E.A.).
- n: el tiempo de vida operacional (20 años).
- T: la vida útil del proyecto (20 años).

Para tener en cuenta los incentivos tributarios en el cálculo del LCOE se debe hallar el factor Δ que tiene en cuenta los efectos de los incentivos tributarios en el análisis financiero de proyectos de FNCER, la ecuación para el cálculo se muestra a continuación [10]:

$$LCOE = \frac{I_0 * \Delta + \sum_{T=1}^n \frac{C_T}{(1+i)^T}}{\sum_{T=1}^n \frac{E_T}{(1+i)^T}} \quad (2)$$

$$\Delta = \frac{1}{(1-t)} * \left[1 - t * \left(\sum_{j=1}^{T1} \frac{r_j}{(1+i)^j} + \sum_{j=1}^{T2} \frac{d_j}{(1+i)^j} \right) \right] \quad (3)$$

Donde:

- Δ : es el factor de incentivos tributarios.
- t: es la tasa impositiva.
- rj: es el factor de descuento de renta.
- i: es la tasa de descuento (E.A.).
- T1: el tiempo de descuento de renta.
- dj: es el factor de depreciación.
- T2: es el tiempo de depreciación

- *Valor Presente Neto (VPN)*: El valor presente neto es básicamente, el valor que tiene hoy en día un monto de dinero que será recibido en el futuro. Si el valor presente neto de las entradas es mayor que el valor presente de las salidas de dinero, de un negocio; El negocio es rentable. El flujo de caja descontado permite calcular el valor presente neto de un proyecto a partir de los ingresos y egresos causados durante su vida operativa. De esta forma, los flujos de caja futuros son llevados a valor presente mediante la tasa de descuento del inversionista y, finalmente, son sumados para obtener el valor presente neto [11]:

$$VPN = \sum_{n=0}^N \frac{(F_i + F_c)}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Donde:

VPN: es el valor presente neto.

Fi: son los ingresos para el año n del flujo de caja (USD).

Fc: son los egresos para el año n del flujo de caja (USD).

i: es la tasa de descuento (E.A.).

n: el tiempo de vida operacional (20 años).

N: la vida útil del proyecto (20 años).

- *Costo promedio ponderado de capital (WACC)*: Es utilizado como tasa de descuento para valorar empresas o proyectos de inversión mediante el método del descuento de flujos de caja esperados. Por su sencillez de cálculo e interpretación es una forma de valoración que recomendamos para todo tipo de empresas, pequeñas, medianas o grandes. Su fórmula de cálculo es sencilla [12]:

$$WACC_{d.i.} = w_d * r_d * (1 - t) + w_e * r_e \quad (5)$$

Donde:

$WACC_{d.i.}$: Costo promedio ponderado de capital, después de impuestos

w: Denota el peso de cada componente en la estructura de capital – deuda (d) o Capital propio (e)

r_d : Costo de la deuda.

r_e : Costo del capital propio (equity)

t: Tasa impositiva.

VIII. METODOLOGÍA

La metodología para el trabajo de investigación se desarrollará en base a 4 fases, tratamiento de la información, búsqueda bibliográfica, definición de incentivos y metodología de acceso, análisis de impactos financieros e Informe Final.

El proyecto se realizará en un semestre académico, listando las actividades con el respectivo tiempo estimado, se muestra en la siguiente tabla:

TABLA I

Cronograma de actividades.

N	Actividad	Semanas															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Investigar información	X	X	X													
2	Compilación de información				X	X	X	X									
3	Realizar análisis de costos								X	X	X						
4	Evaluación Financiera											X	X	X	X	X	
5	Resultados y Conclusiones															X	X

IX RESULTADOS

A. Caso de estudio:

El proyecto bajo análisis en este trabajo consiste en un campo de generación de energía mediante un sistema solar fotovoltaico de 16,4 MWp que será instalado en el municipio de Puerto Boyacá, Boyacá, Colombia en una pozo petrolero ubicado en esta región, el sistema será instalado para suplir la demanda de energía eléctrica de sus instalaciones, la energía que será generada por el sistema solar fue simulada en el software especializado PVsyst y se presenta en el anexo 1 perteneciente a este trabajo.

El análisis financiero se basó en el cálculo de las variables VPN, LCOE y TIR, en los diferentes escenarios sin incentivos tributarios y con incentivos de acuerdo con la Ley 1715 y sus modificaciones para el sistema solar fotovoltaico. Para el cálculo del LCOE, se utiliza la ecuación (4) para medir los efectos de los incentivos tributarios en Colombia. La tasa de descuento de referencia utilizada en este trabajo es del 12% (Caso del sector eléctrico) y es comparado con el cálculo del WACC.

Para los cálculos de las variables financieras se considera una depreciación acelerada en los primeros tres años de operación de la planta y se realiza los incentivos de descuento a la renta en los siguientes 5 años próximos a terminar los incentivos por depreciación acelerada. Los parámetros de entrada se muestran en la **TABLA II** para la planta basada en tecnología de energía solar, los parámetros de entrada incluyen costo de inversión, tasa de descuento, factor de pérdidas, vida útil en años, energía producida al año y (f) costo variable en USD/ MWh. El resultado del modelo corresponde al LCOE ajustado por impuestos, VPN y TIR calculados bajo la regulación colombiana

TABLA II
Valores de entrada del proyecto.

Variable	Valor
Valor inversión (COP) (año 0)	\$ 20.365.187.377,92
O&M (COP) (año 0)	\$ 203.651.873,78
TRM (COP)	\$ 5.115,00
Inflación (%)	5,26%
Vida útil (años)	20
Impuestos (%)	33%
Tasa de descuento (%)	12%
Generación de energía (kWh) (Año 0)	26946000
Perdida de energía (%)	0,5%
Precio venta de la energía (\$/kWh)	257,1643279

B. Análisis de resultados:

La **TABLA III** muestra los resultados donde el proyecto sin incentivos contiene un LCOE de 116 COP/kWh, un VPN 31.326.598.384 COP y una TIR de 30%, lo que nos muestra que este proyecto se hace rentable ya que el costo nivelado de energía es menor a la cual se compra en la bolsa, presenta un VPN positivo y de gran valor y una TIR que comparando con la tasa de descuento genera una mayor rentabilidad del proyecto.

TABLA III
Resultados financieros sin incentivos tributarios.

Variable	Valor
Valor presente neto (COP)	\$ 31.326.598.384
Tasa interna de retorno (%)	30%
Payback (años)	3,56
LCOE (COP/kWh)	\$ 116
WACCd.i (%)	11,59%
WACCa.i (%)	17,29%

El LCOE ajustado por los factores de los incentivos tributarios se calcula incorporando las variables aprobadas en la Ley 1715. Se utiliza los incentivos de depreciación acelerada y la tasa de descuento. Los resultados se muestran en la **TABLA IV**, donde se obtiene hasta un 6,786% de

reducción en el LCOE para la planta solar. Sin embargo, en las variables financieras como lo son el VPN y la TIR presenta un incremento de 11% y 13% respectivamente. Haciendo el proyecto más competitivo en el mercado eléctrico y más atractivo para los inversionistas

TABLA IV
Resultados financieros con incentivos tributarios.

Variable	Valor
Valor presente neto (COP)	\$ 34.634.225.770
Tasa interna de retorno (%)	27%
Payback (años)	3,611092927
LCOE (COP/kWh)	\$ 107,96
WACCD.i (%)	11,59%
WACCa.i (%)	17,29%

El precio de venta de energía en bolsa a lo largo de los años ha presentado un incremento, teniendo en los últimos 5 años un aumento incremental, esto nos permite interpretar que el proyecto es más rentable debido a que el costo de energía seguirá en aumento y el costo de generación de energía por kWh del SSFV no verá este aumento, lo cual presenta una mejora en los valores financieros del proyecto. En la figura 3 se muestra el cambio del precio de energía en bolsa a lo largo de los últimos 20 años.

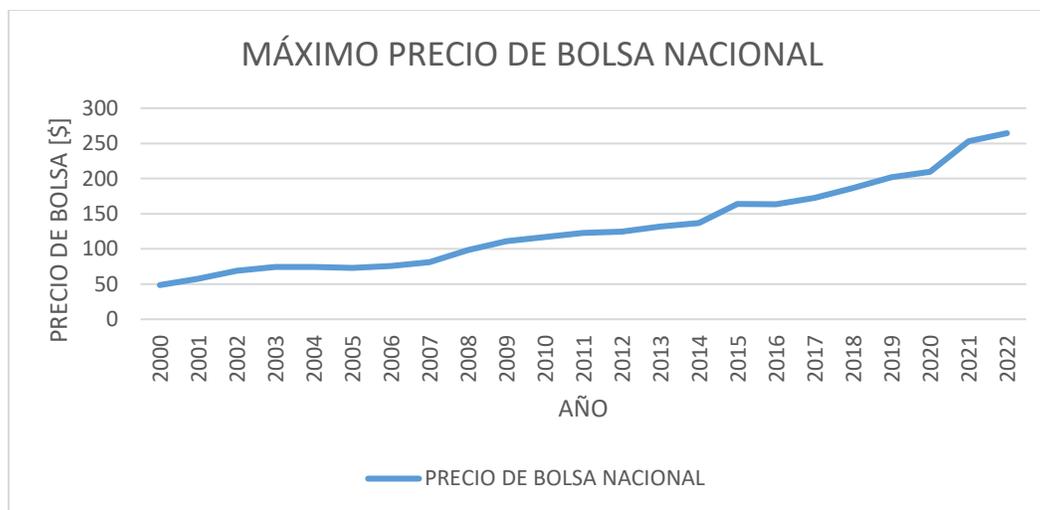


Fig. 3. Precio de bolsa nacional.

X. DISCUSIÓN

Dado que el precio del dólar modificó en gran medida el VPN del proyecto con y sin incentivos, se realizó un análisis de sensibilidad para determinar la variación de la TRM con los valores históricos y valores futuros supuestos para analizar si el proyecto es viable ante subidas de la TRM.

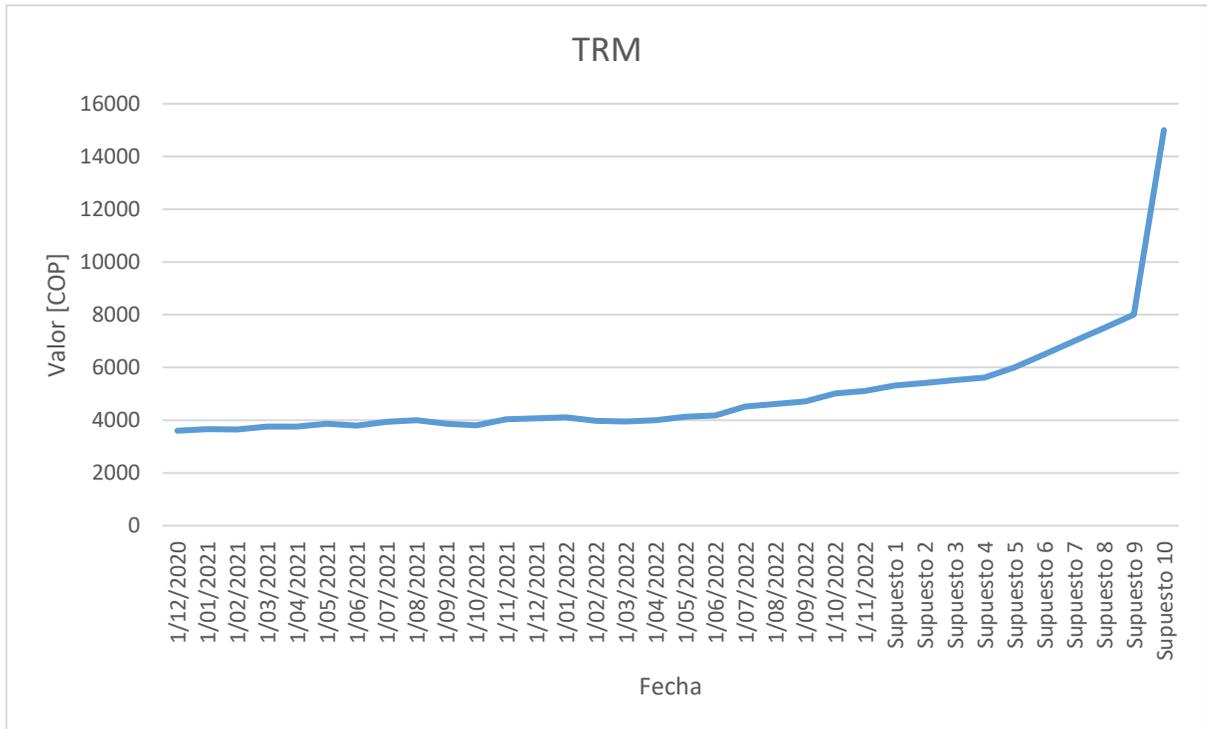


Fig. 4. Valor de la TRM en el tiempo.

De acuerdo con la Fig. 5 y Fig. 6, el VPN se reduce cuando la TRM aumenta y el LCOE aumenta cuando la TRM aumenta, ya que incrementa la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento. Con los valores del dólar a finales del año 2020, se encontraba LCOE por debajo de los 82 \$/KWh sin incentivos y con incentivos por debajo de 76.05 \$/KWh, el VPN con valores más altos a los de la fecha actual. En el año 2021, se encuentra una TRM oscilando entre valores máximos de 3651.95\$ y 4073.49\$, para el valor máximo del 2021 se tiene un VPN de 35'078.767.913\$ sin incentivos tributarios y de 37'712.900.284\$ con incentivos tributarios, a pesar de que es el precio más alto del año 2021 aún es más grande que el valor actual.

Para el año 2022, debido al incremento del dólar con respecto a las demás monedas, el peso colombiano se ve bastante afectado y esto infiere en el incremento de la inversión inicial y costos

de operación y mantenimiento haciendo que el VPN disminuya con respecto a los años anteriores. Actualmente el peso colombiano se devalúa con respecto al dólar y no encuentra un techo, por lo que es posible que haya un incremento tal de que presente un VPN negativo y así volver definitivamente inviable el proyecto. En la Fig. 5 se presenta un supuesto donde el precio del dólar alcanza un valor de 15000\$ y así se presenta un VPN negativo, haciendo que el proyecto no sea rentable sin incentivos tributarios.

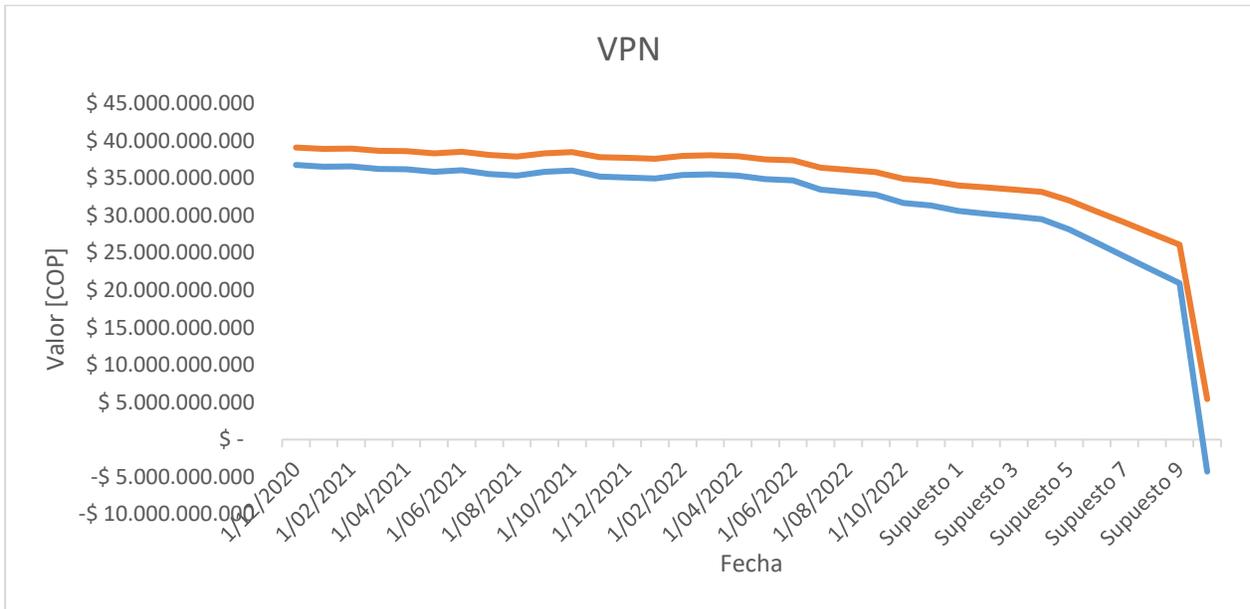


Fig. 5. Variación del VPN con respecto a la TRM.

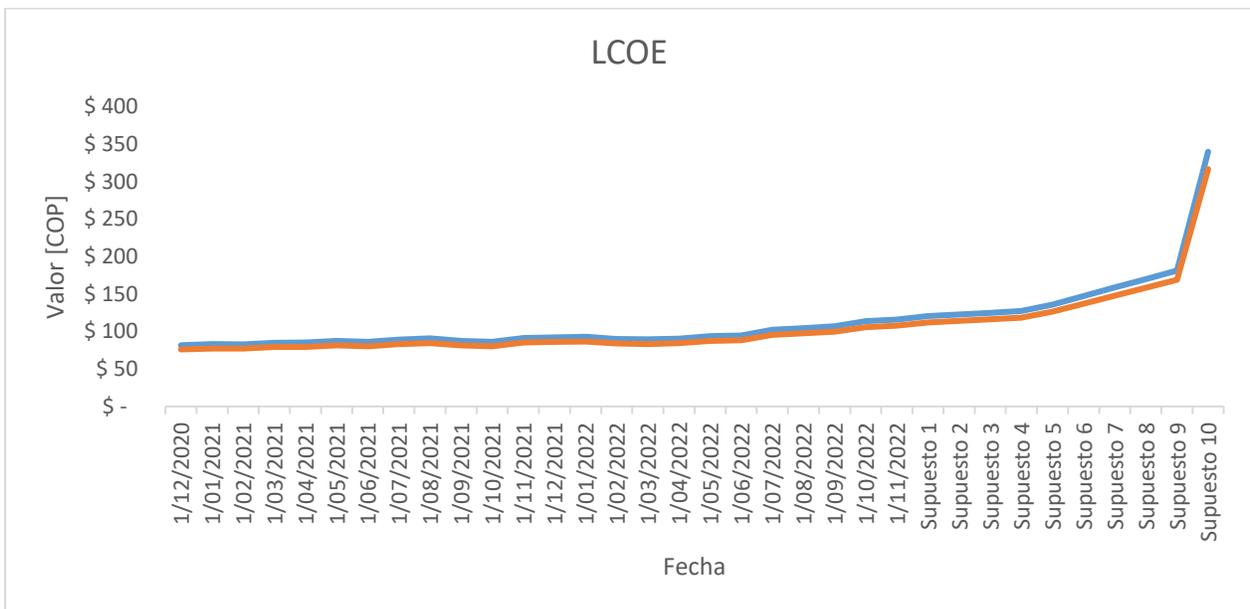


Fig. 6. Variación del LCOE con respecto a la TRM.

XI. CONCLUSIONES

En Colombia los beneficios tributarios y contables en inversión en los proyectos de generación de energía mediante fuentes no convencionales presentes en la normatividad permiten obtener valores financieros más atractivos que permitirían un aumento en la cantidad de inversiones extranjeras en el país y además permiten un aumento acelerado de la ejecución de estos proyectos.

La metodología ajustada para el cálculo del LCOE permite evaluar los efectos potenciales de los incentivos económicos vigentes en Colombia, así como determinar una estrategia de inversión adecuada para reducir los costos de generación. El mejor escenario de inversión fue la inversión con incentivos tributarios logrando un LCOE de 107,96 \$/kWh logrando una reducción del 6,786%. Por otro lado, el pleno uso de los incentivos fiscales dependerá de la estructura de capital de cada proyecto por lo que las estrategias de inversión y el impacto de los incentivos serán diferentes para cada empresa.

El precio de la electricidad en Colombia cada vez va aumentando su valor a través del tiempo y esto hace que, con los altos precios de la energía, los proyectos de energía solar sean más interesantes para inversión. El proyecto se desarrolla con un precio de bolsa de 257, 58 \$/kWh, siendo un valor más alto que el LCOE de esta tecnología con o sin incentivos tributarios, logrando precios más competitivos respecto a la tecnología actual.

Uno de los desafíos que se presenta en la implementación de estos proyectos es el tema de las tasas de interés, con una tasa de interés mayor los valores de LCOE tienden a aumentar, haciendo que los proyectos puedan llegar a ser inviables. Las tasas de interés actualmente en Colombia y en el exterior presentan una coyuntura donde se han elevado sus valores, de ser permanente esta coyuntura, las nuevas empresas al hacer préstamos con el banco tienden a recibir tasas de interés elevadas y hace que sus proyectos se encarezcan y no sean competitivos ante otro tipo de tecnología.

El tema político del país es un punto de quiebre para la ejecución de este tipo de proyectos debido a que las decisiones políticas internas pueden causar aumentos en la TRM, lo cuál afectaría directamente la inversión para ejecución del proyecto. Aumentos abruptos en la TRM para Colombia disminuirían los factores financieros obtenidos en este documento, además de frenar las inversiones de capital extranjero en el país debido a la incertidumbre en las decisiones políticas del país.

El análisis presentado en este proyecto se puede realizar para otras tecnologías de generación como eólica, biomasa, etc., teniendo la misma validez en los resultados obtenidos y permitiendo una mayor oportunidad de aprovechamiento de los recursos naturales tan abundantes en Colombia.

XII. RECOMENDACIONES

Para el análisis de financiero de proyectos de fuentes no convencionales de energía es importante tener en cuenta las variaciones en la TRM debido a que este valor aumenta directamente los resultados financieros del proyecto.

Para tomar en cuenta los resultados de este trabajo se recomienda leer los incentivos tributarios de la normatividad colombiana y la forma de aplicarlos correctamente.

XIII. TRABAJOS FUTUROS

De este proyecto se puede derivar análisis más profundos de los efectos de los incentivos tributarios en los proyectos de generación de energía solar, teniendo en cuenta variaciones de las tasas de interés.

En un futuro se debe realizar un análisis financiero de otras fuentes de generación de energía no convencionales con esta metodología para aumentar la posibilidad de proyectos a ejecutar de este tipo de tecnologías.

REFERENCIAS

- [1] Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, Diario Oficial 49.150.
- [2] Ley 2099 de 2021, por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones., Diario Oficial 51.731.
- [3] P. Menanteau, D. Finon and M. L. Lamie, “Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy”, *Energ. Policy* (2003), Vol. 32, pp. 799-812.
- [4] R. Reichelstein and M. Yorston, “The prospects of cost competitive solar PV power”, *Energy. Policy* (2013), Vol. 55, pp. 117-127.
- [5] A. Luque and S. Hegedus, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, John Wiley & Sons Ltd (2003), Vol. 1.
- [6] Antonio Barrero F. (05 de mayo de 2021). La solar fotovoltaica bate récord del mundo. Energías renovables. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/la-solar-fotovoltaica-bate-record-del-mundo-20210505#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20informe%20ahora%20publicado,de%20la%20capacidad%20fotovoltaica%20global>.
- [7] Angus Media (15 de septiembre de 2022). La energía solar a gran escala se acelera en Colombia. World energy trade. <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/energia-solar-gran-escala-acelera-colombia>
- [8] Bloomberg (16 de enero de 2019). Clean Energy Investment Trends. Bloomberg New Energy Finance. <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BloombergNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-2019.pdf>
- [9] O. Dimitriev, T. Yoshida and H. Sun, “Principles of solar energy storage”, *Energy Storage-Wiley*. (2021).
- [10] F. Villada, J. D. Saldarriaga-Loaiza and J. M. López-Lezama, “Incentives for Renewable Energies in Colombia”, 8th International Conference on Renewable Energies and Power Quality. (2020). Vol. 18.
- [11] W. Short, D. Packey and T. Holt, “A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies”, NREL (1995), NREL/TP-462-5173.
- [12] J. Ondraczek, N. Komendantova and A. Patt, “WACC the dog: The effect of financing costs of the livelized cost of solar PV power”, *Renew. Energ.* (2015). Vol. 75, pp. 888-898.

ANEXOS

Este proyecto tiene como anexo la simulación realizada en el software especializado PVsyst para la cuantificación de la generación anual del SSFV de 16,4 MWp del que tiene que ver este análisis.