

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Eficiencia de la energía solar como alternativa competitiva en la
reducción de emisiones de GEI en el Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Daniel Joab Corimayhua Coarite

Bryan Kevin Oscanoa Roque

Asesor:

Doctor Alex Rubén Huamán de la Cruz

Lima, noviembre 2023

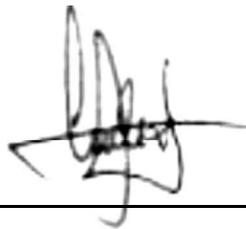
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo ALEX RUBÉN HUAMÁN DE LA CRUZ. docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFICIENCIA DE LA ENERGÍA SOLAR COMO ALTERNATIVA COMPETITIVA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN EL PERÚ”** de los autores DANIEL JOAB CORIMAYHUA COARITE, BRYAN KEVIN OSCANO ROQUE. tiene un índice de similitud de 13 % verificable en el informe del programa TURNITIN, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 12 días del mes de febrero del año 2024.



Pós-PhD. Alex Rubén Huamán De La Cruz

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **21 días** día(s) del mes de **noviembre** del año 2023 siendo **las 10:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, y los demás miembros: **MG. Iliana del Carmen Gutiérrez Rodríguez y el Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio** y el asesor, **Dr. Alex Ruben Huaman De la Cruz** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Eficiencia de la energía solar como alternativa competitiva en la reducción de emisiones de GEI en el Perú"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **DANIEL JOAB CORIMAYHUA COARITE**

b) **BRYAN KEVIN OSCANOA ROQUE**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **DANIEL JOAB CORIMAYHUA COARITE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): **BRYAN KEVIN OSCANOA ROQUE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(*) *Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga



Asesor
Dr. Alex Ruben
Huaman De la Cruz



Candidato/a (a)
Daniel Joab
Corimayhua Coarite



Secretario
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro
Mg. Iliana Del Carmen
Gutiérrez Rodríguez

Miembro
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio



Candidato/a (b)
Bryan Kevin Oscanoa
Roque

Agradecimientos

Valoro la participación de todos aquellos que, de manera directa o indirecta, han sido cruciales en la finalización de mi proceso de titulación. Ha sido un privilegio recibir sus reflexiones y apoyo.

Mi gratitud a aquellos que me orientaron en el desafío de la tesis de titulación: mi familia.

Índice.

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN.....	3
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	4
PREDICCIÓN DEL ESCENARIO ENERGÉTICO (S)ARIMA.....	4
Procesos Autoregresivos (AR):	4
Proceso de media móvil MA(q):	4
Metodología Box – Jenkins:	5
USO DEL MODELO REGRESIÓN LINEAL ECONOMÉTRICA.....	6
Inferencia estadística de la regresión lineal.	6
E1 ENERGIA ELECTRICA GENERADA	7
E2 IMPACTO AMBIENTAL Y FACTOR DE EMISION COMBINADO....	7
Factor de Emisión OM simple.....	12
Margen de construcción FEBM SET 5.....	13
E3 PRECIO SOCIAL DE CARBONO.	16
RESULTADOS:	16
E1: ENERGIA ELECTRICA.	16
Identificación del modelo SEIN:	17
Estimación 2020 SEIN	17
Inferencia estadística SEIN:	18
Pronostico:	19
Identificación SEIN-SOLAR.....	20
Inferencia Estadística SEIN y Solar	23
Pronostico:	25
E2: Factor de emisión combinado (FECM).....	28
Cálculo del índice de carbono FECM.....	30
Inferencia estadística de la regresión lineal.	31
Pronostico del Factor de Emisión Combinado	32
E3: PRECIO SOCIAL DE CARBONO PSC	33
CONCLUSION	33
DISCUSION.....	34

"EFICIENCIA DE LA ENERGÍA SOLAR COMO ALTERNATIVA COMPETITIVA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN EL PERÚ"

Daniel Joab Corimayhua Coarite, Bryan Kevin Oscanoa Roque
Universidad Peruana Unión, EAP. de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.

Resumen: En el Perú, alrededor de un tercio de la electricidad generada proviene de centrales térmicas que usan principalmente gas natural como combustible, lo que contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). A pesar de su viabilidad, la implementación de centrales solares se encuentra obstaculizada debido a la percepción de alto riesgo asociada con estos proyectos. Para medir la eficiencia de las centrales solares en la reducción de emisiones, se utilizaron diferentes fuentes de información, como pronósticos de escenarios energéticos, cálculo del factor de emisión (FECM) y el Precio Social de Carbono (PSC). La competitividad futura se evaluó mediante el análisis de series de tiempo y predicción (SARIMA), también fue empleada la Metodología para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) con el propósito de calcular grado de influencia de los índices de carbono, respectivamente se utilizó la técnica de regresión lineal para predecir su valor. Se usó la nota técnica del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) para determinar el uso del Precio Social del Carbono. Los resultados indican que la generación de energía solar para el periodo 2030 es 1 557 041 MWh y el FECM. es 0.46 tCO₂/MWh, mientras que para otros tipos de energía eléctrica es 62 265 853 MWh y el FECM. es 0.47 tCO₂/MWh. Las emisiones reducidas para el 2030 fueron 711 558 tCO₂, que es equivalente al 2.4% de emisiones evitadas, además se calcula que los beneficios sociales sean \$ 5 101 869. La energía solar es una opción competitiva esencial en la lucha contra el cambio climático. La evaluación de diferentes escenarios energéticos es clave para tomar decisiones sostenibles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras Clave: Mecanismo de Desarrollo Limpio, Factor de Emisión, Gases de Efecto Invernadero, Precio Social Carbono.

Abstract: In Peru, around one-third of the generated electricity comes from thermal power plants that primarily use natural gas as fuel, significantly contributing to greenhouse gas emissions (GHG). Despite its viability, the implementation of solar power plants is hindered due to the perceived high risk associated with these projects. To measure the efficiency of solar power plants in emissions reduction, various sources of information were utilized, such as energy scenario forecasts, calculation of the Emission Factor of Carbon Mitigation (FECM), and the Social Cost of Carbon (PSC). Future competitiveness was assessed through time series analysis and prediction (SARIMA). The Clean Development Mechanism (CDM) methodology was also employed to calculate the degree of influence of carbon indices, using linear regression to predict their values. The technical note from the Ministry of Economy and Finance (MEF) was used to determine the use of the Social Cost of Carbon. The results indicate that solar energy generation for the 2030 period is 1 557 041 MWh, with a FECM of 0.46 tCO₂/MWh, while for other types of electric energy, it is 62 265 853 MWh, with a FECM of 0.47 tCO₂/MWh. The reduced emissions for 2030 were 711 558 tCO₂, equivalent to a 2.4% emissions avoidance, and it is estimated that the social benefits amount to \$5,101,869. Solar energy is an essential competitive option in the fight against climate change. Evaluating different energy scenarios is crucial for making sustainable decisions and mitigating greenhouse gas emissions.

Keywords: Clean Development Mechanism, Emission Factor, Greenhouse Gases, Social Cost of Carbon.