

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

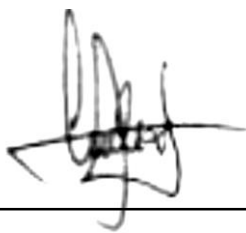
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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 OSCANOA 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
Gutierrez Rodriguez

Miembro
Mg. Jackson Edgardo
Perez 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.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética en los sistemas fotovoltaicos (PV) desempeña un papel fundamental en la transformación de los sistemas de energía hacia una opción más limpia y sostenible (Velis, 2022). Con el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y satisfacer la creciente demanda mundial de energía, es crucial aprovechar fuentes de energía limpia y eficiente (Kumar Behura et al., 2021).

Los sistemas fotovoltaicos ofrecen numerosas ventajas en comparación con las fuentes de energía convencionales, ya que utilizan una fuente abundante y renovable de energía: el sol. Al convertir directamente la radiación solar en electricidad, estos sistemas contribuyen a la mitigación del cambio climático y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles (Mitma Ramírez, 2015)

Sin embargo, lograr la generación de energía eléctrica eficiente a través de sistemas fotovoltaicos requiere considerar diversos parámetros, incluyendo las propiedades de los materiales y el funcionamiento del sistema (Cosme et al., 2018). Además, es esencial llevar a cabo estudios predictivos y de impacto ambiental para garantizar un desarrollo sostenible y la competitividad de los recursos. El análisis de datos de eficiencia en relación a estas variables se vuelve evidente y necesario (Bošnjakovi, Santa, Crnac, & Bošnjaković, 2023) (Dupont et al., 2015).

Según el Acuerdo de París de 2015, el objetivo es mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 grados centígrados y evitar que supere los 1.5 grados centígrados para 2030 (COP 21, 2015). Para lograr esto, Perú ha propuesto reducir sus emisiones en un 30% y buscar una disminución del 19% en las emisiones del sector eléctrico para 2030 (Pulgar Vidal, 2016).

Dentro de los compromisos adquiridos en la conferencia climática de París (COP 21) de la (CMNUCC, 2022), es crucial adquirir nuevos conocimientos, fortalecer el desarrollo tecnológico y mejorar la capacidad de gestión del cambio para abordar los desafíos energéticos y ambientales (Anoliefo & Oparaku, 2017). A pesar de los avances en la tecnología fotovoltaica, aún existen obstáculos que limitan su aplicabilidad generalizada, como la falta de políticas, los costos sociales y la infrautilización de la tecnología (Ciriminna et al., 2016; Ormachea et al., 2012).

Touati et al. (2016) señalan la necesidad de desarrollar nuevos métodos teóricos para evaluar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, su impacto ambiental y económico, y determinar si las actividades de transición energética actuales son adecuadas para cumplir los objetivos para 2030, estos métodos son esenciales para predecir la efectividad de las intervenciones en los sistemas de energía solar fotovoltaica (Pulgar Vidal, 2016). Por otro lado, es importante resaltar que la eficiencia energética impulsa el desarrollo económico, contribuye al avance sostenible y fomenta la creatividad en la implementación de plantas solares. Este enfoque busca disminuir el costo de la energía, reducir la huella de carbono y generar nuevas oportunidades laborales, como lo señalan Ravi Kumar & Reddy, (2012) & (EPA, 2022) .

En un mundo amenazado por la devastación del clima, es esencial considerar las energías renovables, como la solar, como una fuente de energía limpia y sin emisiones de GEI. Evaluar diferentes escenarios energéticos se vuelve crucial para tomar decisiones informadas sobre sostenibilidad y reducción de emisiones (CDM, 2018).

Para ello, se puede utilizar el modelo SARIMA, que es un método estadístico que permite analizar y predecir series temporales que presentan variaciones estacionales y no estacionarias. El modelo SARIMA puede capturar la dependencia lineal entre las observaciones y los errores pasados, tanto en el nivel regular como en el nivel estacional (Morales-Oñate, 2022).

En este contexto, este artículo tiene como objetivo abordar la importancia de evaluar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y su impacto ambiental y económico.

Se presentará un enfoque teórico novedoso para analizar los sistemas de energía solar fotovoltaica y determinar si las acciones actuales son adecuadas para alcanzar los objetivos establecidos para 2030.

Además, se explorará el impacto social y de materiales asociado a la producción de energía renovable. Este estudio busca contribuir a la comprensión de la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas en la transición hacia una economía baja en carbono y sostenible.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

El análisis llevado a cabo examina la eficacia de la energía solar en la reducción de emisiones en Perú hasta el 2030, utilizando la metodología E3 (E3, 2022). Para medir dicha eficacia se consideran tres variables: la cantidad de energía generada, el impacto ambiental evaluado a través del factor de emisión combinado (FECM) y el precio social del carbono (PSC). (CDM, 2018; MEF, 2021)

Se está comparando los resultados del estudio con escenarios energéticos que no utilizan fuentes renovables dentro del sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN) hasta el año 2030. El objetivo es evaluar si la energía solar puede contribuir a la reducción de emisiones requerida para cumplir con los compromisos de la COP 21. Los resultados indican que se puede lograr una disminución del 19% en las emisiones de CO2 mediante la implementación de la energía solar (Pulgar Vidal, 2016).

PREDICCIÓN DEL ESCENARIO ENERGÉTICO (S)ARIMA

Para prever la eficiencia energética al año 2030, es necesario tener una proyección de la producción de las series Solar y SEIN. Los Modelos Autoregresivos Integrados de Promedios Móviles (ARIMA) son utilizados para predecir estas series de tiempo ya que se enfocan en el análisis de las propiedades probabilísticas de las series estacionarias. (Pilar et al., 2009).

Para predecir el comportamiento de la serie Solar y SEIN, se utiliza el modelo SARIMA debido a la periodicidad mensual de ambas series. Se evalúa cuidadosamente el factor estacional y las correlaciones entre los meses correspondientes. S=12 Datos mensuales (Morales-Oñate, 2022).

Procesos Autoregresivos (AR):

Un proceso autoregresivo de orden p, se define, (Box, 2013):

$$Y_t = \delta + \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \theta_3 Y_{t-3} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

La variable energía se agrupa en datos mensuales SARIMA (1,0,0) x (P, D, Q)₁₂

Proceso de media móvil MA(q):

En los modelos de media móvil Y_t , depende simplemente de la perturbación estocástica y de los rezagos de este. Se describe a Y_t como un MA(q), si sigue el siguiente proceso estocástico (Box, 2013).

$$Y_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

La variable energía se agrupa en datos mensuales SARIMA (0,0,1) x (P, D, Q)₁₂

METODOLOGÍA BOX – JENKINS:

Según (Box, 2013), para obtener buenas predicciones para las series SEIN y Solar, se utiliza el método Box – Jenkins:

Prueba 0: Prueba de estacionariedad: (mediante un test de raíz unitaria)

La prueba de la estacionariedad es el primer paso en la elaboración de modelos ARIMA según la metodología de box –jeking. Usamos la Formulación del Test ADF (Dickey Fuller Aumentado)

$$\Delta Y_T = \theta_0 + \gamma Y_{T-1} + \sum_{j=1}^{P-1} \phi_j \Delta Y_{T-1} + \varepsilon_t$$

Dónde $\gamma = \theta - 1$ y θ_1 es el coeficiente autoregresivo de Y_{t-1}

Planteamiento de la hipótesis de ADF (Dickey Fuller Aumentado): $H_0: \gamma \geq 0$ ($|\theta_1| \geq 1$): La serie estudiada tiene raíz unitaria, por lo tanto, no es estacionaria, $H_1: \gamma \leq 0$ ($|\theta_1| < 1$): La serie estudiada no tiene raíz unitaria, por lo tanto, es estacionaria. Según la metodología de Box Jenkins, tenemos que realizar la prueba 0 hasta que la serie sea estacionaria y pasar a la prueba 1

Prueba 1: Identificación del modelo ARIMA (mediante el correlograma). Se verifica que el correlograma estacionario no sea Ruido Blanco (las variables de rezago no presenten correlación), se verifica que las bandas de confianza que no sean superadas por las barras de control (Morales-Oñate, 2022).

Prueba 2: Una vez que el modelo ha sido identificado, se puede proceder a su estimación si se cumplen las pruebas 0 y 1. Si la muestra presenta probabilidades estadísticamente significativas, se lleva a cabo la verificación de la autocorrelación, heterocedasticidad y normalidad mediante las pruebas correspondientes (Morales-Oñate, 2022).

Prueba 3: Inferencia estadística, el objetivo es comprobar si los residuos de una serie tienen ruido blanco mediante el análisis del correlograma y la prueba de Ljung-Box. Para afirmar que los residuos tienen ruido blanco, los valores de probabilidad y estadística del correlograma deben ser significativos, lo que indica que no hay autocorrelación (Chávez Quisbert, 1997). Si se cumple esta condición, se rechaza la hipótesis de autocorrelación y se considera que la serie tiene ruido blanco (Morales-Oñate, 2022).

El estadístico Q de Ljung-Box se define:

$$Ljung - Box = n(n + 2) \sum_{k=1}^m \left(\frac{\rho_k^2}{n - k} \right) \approx x_m^2$$

La regla de decisión se sustenta en la hipótesis siguiente:

H_0 : no autocorrelación (ruido blanco)

H_a : autocorrelación

Si los residuales son ruido blanco avanzar a la prueba 5 sino volver a la prueba 1.

Prueba 4: Pronostico, se evalúa la capacidad fuerte de predicción de modelo mediante el coeficiente de desigualdad de Theil, que se define:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{H} \sum_{t=T+1}^{T+H} (Y_t - \hat{Y}_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{H} \sum_{t=T+1}^{T+H} \hat{Y}_t^2 + \frac{1}{H} \sum_{t=T+1}^{T+H} Y_t^2}}$$

El coeficiente U no se ve afectado por problemas de escala y su valor oscila en el rango de 0 a 1. Si el valor del coeficiente U se acerca a 0, se puede considerar que el

modelo es válido y que sus pronósticos son confiables. Por otro lado, si el valor del coeficiente U se aproxima a 1, el modelo debe ser descartado, ya que sus pronósticos no son fiables (Morales-Oñate, 2022; Pilar et al., 2009). U de Theil se descompone en:

$$\text{Sesgo} + \text{Varianza} + \text{Covarianza} = 1$$

El sesgo indica la presencia de error sistemático, el sesgo debe ser cercano a 0 en caso contrario el pronóstico es poco confiable. La varianza indica la capacidad de pronóstico para replicar el comportamiento de la variable, esta proporción no deberá ser elevada ya que esto implicaría una menor habilidad para replicar el comportamiento de la serie. La covarianza indica si la medida es alta el modelo es fiable ya que el error de predicción se hace pequeño. Para la evaluación de la capacidad predictiva se evaluará las variables que comprenden el coeficiente U de Theil (Pilar et al., 2009).

USO DEL MODELO REGRESIÓN LINEAL ECONOMETRICA.

Se está llevando a cabo un análisis económico básico utilizando técnicas estadísticas y econométricas para determinar la relación de dependencia lineal entre el factor de emisión (variable endógena) y las variables SEIN y Solar (variables exógenas) mediante la construcción de un modelo de regresión y la ecuación de la recta correspondiente (Novales, 2010): $Y = \alpha + \beta_1 x_1 + e$

Dónde: Y= factor de emisión, β_1 = pendiente de la recta, X_1 = energía eléctrica, α = ordenada con el eje y.

Para estimar la β_1 = pendiente de la recta de regresión usamos la siguiente formula: $\alpha = \bar{y} - b\bar{x}$

Para estimar la β_1 = pendiente de la recta de regresión usamos la siguiente formula: $\beta_1 = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$

Dónde: x= son los valores conocidos de la variable independiente, y= valores conocidos de la variable dependiente, \bar{x} = promedio del valor de las x \bar{y} = promedio del valor, n= número de datos puntuales u observaciones.

Inferencia estadística de la regresión lineal.

Según (Novales, 2010) en tanto:

$H_0: \beta_1 = 0$ (No hay relación lineal entre ambas variables por lo que la pendiente del modelo lineal es cero).

$H_1: \beta_1 \neq 0$ (Si hay relación lineal entre ambas variables por lo que la pendiente del modelo lineal es distinta de cero).

Estadística de Prueba T de Student:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - 0}{SE(\hat{\beta}_1)} ; t = \frac{\hat{\beta}_0 - 0}{SE(\hat{\beta}_0)}$$

Cálculo del error estándar:

$$SE_{\beta_1\beta_0} = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n - 2}} \text{RSS} = \sqrt{MSE}$$

Intervalo de confianza:

$$\hat{\beta}_0 \pm t_{df}^{\alpha/2} SE(\hat{\beta}_0) \quad \hat{\beta}_1 \pm t_{df}^{\alpha/2} SE(\hat{\beta}_1)$$

Utilizando el análisis de regresión mencionado previamente, se ha preparado un modelo estadístico predictivo para el factor de emisión anual en relación a las variables de energía Solar y energía SEIN para el período comprendido entre los años 2012 y

2030, La fórmula utilizada para determinar la tasa de crecimiento promedio en intervalos de tiempo regulares es la siguiente (Morales-Oñate, 2022):

$$grow\ rate = \left(\frac{present}{past} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

E1 ENERGIA ELECTRICA GENERADA

El último informe de indicadores del sector eléctrico a nivel nacional, emitido por el Ministerio de Energía y Minas y el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, se informó que la producción de energía eléctrica para el año 2021 fue de 53 990 GWh incluyendo sistemas renovables y el sistema eléctrico. (MINEM, 2021; COES, 2021a).

Además, el informe también presentó la distribución de la matriz energética por tipo de generación. Las centrales hidroeléctricas representan el 57% de la generación total, seguidas por las centrales termoeléctricas que utilizan principalmente gas natural y representan el 38.5%. Las energías renovables ocupan los dos últimos lugares de la lista, con la generación eólica representando el 3% y la energía solar el 1.5% de la participación total en la generación de energía. (Tabla 1) (MINEM, 2021; COES, 2021a).

Tabla 1.

Producción de la Distribución por Tipo de Generación de la Energía Eléctrica

POR TIPO DE GENERACIÓN - 2021		
TIPO	ENERGÍA (GWh)	PARTICIPACIÓN (%)
Hidroeléctrica	30,664.41	56.80
Termoeléctrica	20,723.38	38.38
Solar	801.92	1.49
Eólico	1,800.64	3.34
TOTAL	53,990.35	100.00

Nota: Tabla reproducida del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021 (www.coes.org.pe). COES SINAC.

Para obtener y analizar los datos de eficiencia fotovoltaica se recolectaron datos de la industria energética renovable Solar y del SEIN (COES, 2021b). Según los factores de emisión del enfoque E3 los datos energéticos se agruparon en dos series:

- La serie, Solar, se enfoca en la producción de energía fotovoltaica de 2012 a 2021 (Tabla 3).
- La serie, SEIN, incluye la producción de energía del sistema eléctrico interconectado nacional de 2001 a 2021, sin considerar la producción de energía solar ni eólica (Tabla 4, Tabla 5).

E2 IMPACTO AMBIENTAL Y FACTOR DE EMISION COMBINADO

Se utiliza la metodología "Tool to Calculate the Emission Factor for an Electricity System versión 07" del ACM0002 para determinar el factor de emisión y el grado de influencia de los índices de carbono en los sistemas PV. (CDM, 2018).

Los datos estadísticos de generación de electricidad y distribución se obtienen del Comité de Operaciones Económicas del Sistema (COES, 2021b).

El grado de influencia del índice de carbono se determina mediante el cálculo de las emisiones de Margen Combinado (FECM) basados en las actividades del proyecto que producirán electricidad renovable. (Deenapanray & Sookhraz, 2018).

Las emisiones de las centrales eléctricas solares se calculan teniendo en cuenta el tipo de tecnología solar utilizada, la eficiencia de la planta y la irradiación solar promedio. (CDM, 2018)

El factor de margen combinado (FECM) se calcula como el promedio ponderado del factor de emisión del margen operativo (OM) y el factor de emisión del margen de construcción (BM) de un sistema eléctrico.(CDM, 2018).

El margen operativo (OM) es una medida de la eficiencia de una red eléctrica. Se calcula utilizando los datos de generación de las centrales eléctricas de la red (tabla 1) durante un período de tres años. El método OM simple utiliza una base de datos de promedio ponderado de generación de tres años. Este método se basa en los datos más recientes disponibles en la opción "ex ant". (CDM, 2018)

El margen de construcción (BM) es un método para calcular el factor de emisión de una nueva central eléctrica. BM se basa en un conjunto de 5 unidades de potencia (SET5) que se han construido recientemente de las plantas de bajo costo (LC) (tabla 2). Si la electricidad generada por SET5 unidades es mayor que la generada por el conjunto de muestra de plantas (SET) en un 20% o más, entonces BM se utiliza para calcular el factor de emisión de la nueva central eléctrica. (CDM, 2018).

La fórmula para calcular el factor de emisión del Margen Combinado (FECM) es el producto de los factores de emisión del Margen Operativo OM y del Margen de Construcción BM, ponderados por w_{OM} y w_{BM} , respectivamente. (CDM, 2018)

$$FE_{CM} = (FE_{OM} \times w_{OM}) + (FE_{BM} \times w_{BM})$$

Donde:

FE_{BM} es el factor de emisión de CO2 del BM (tCO2/MWh). FE_{OM} , es el factor de emisión de CO2 del OM en el año (tCO2/MWh). w_{OM} y w_{BM} representan la ponderación del factor de emisiones del margen operativo y margen de construcción.

La metodología 07 del ACM0002 establece valores predeterminados para w_{OM} y w_{BM} , siendo $w_{OM} = 0.75$ y $w_{BM} = 0.25$ para proyectos de energía eólica y solar debido a su carácter intermitente, y $w_{OM} = 0.5$ y $w_{BM} = 0.5$ para otros proyectos, esto significa que el 25% de las emisiones de GEI de una central eléctrica solar se producen durante la construcción de la central eléctrica y el 75% de las emisiones de GEI se producen durante la operación de la central eléctrica.

Tabla 2.

Producción de electricidad renovable, plantas de bajo costo (LC)

TIPO	ENERGÍA (GWH)	PARTICIPACIÓN (%)
Hidroeléctrica	2,319.20	43.95
Termoeléctrica	355.69	6.74
Solar	801.92	15.20
Eólico	1,800.64	34.12
Total	5,277.45	100.00

Nota: Tabla reproducida del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021 (www.coes.org.pe). COES SINAC.

Tabla 3.*Producción de energía eléctrica fotovoltaica: periodo 2012-2021.*

MES	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021/ 2020
											INC. MENSUAL%
ENERO	0.0	16.7	17.1	21.6	22.6	17.6	59.66	56.28	72.94	57.71	-20.88%
FEBRERO	0.0	15.2	17.3	15.8	18.8	18.2	46.19	49.24	63.76	54.23	-14.95%
MARZO	0.0	17.6	17.6	19.3	21.8	18.5	62.17	68.40	63.76	60.12	-5.70%
ABRIL	0.0	17.3	14.9	18.2	17.7	19.1	58.17	57.15	62.39	64.58	3.52%
MAYO	0.0	13.9	14.8	17.4	19.1	16.0	57.91	57.42	57.12	58.92	3.15%
JUNIO	0.0	13.2	13.0	17.1	16.0	15.9	46.70	52.87	54.26	55.06	1.49%
JULIO	4.1	14.4	14.4	17.6	16.8	16.9	49.36	57.34	58.61	61.04	4.14%
AGOSTO	7.7	15.4	15.7	19.1	19.8	19.5	65.05	66.06	67.55	64.27	-4.86%
SETIEMBRE	8.6	17.6	15.1	21.0	21.6	18.9	71.75	67.23	70.78	70.43	-0.50%
OCTUBRE	12.3	18.6	18.2	21.5	22.1	22.4	74.90	77.07	80.83	76.33	-5.56%
NOVIEMBRE	12.8	19.0	18.2	20.7	23.1	42.5	76.69	75.16	76.36	81.51	6.75%
DICIEMBRE	14.1	18.1	22.8	21.6	22.5	62.6	76.64	77.50	73.56	73.65	0.12%
Σ	59.70	196.93	199.30	230.95	241.82	288.17	745.19	761.73	801.92	777.86	-3.00%
ANNUAL (%)	100%	229.9%	1.2%	15.9%	4.7%	19.2%	158.6%	2.2%	5.3%	-3.0%	

Nota: Tabla reproducida del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021 (www.coes.org.pe). COES SINAC.

Tabla 4.*Producción de energía eléctrica SEIN: periodo 2001-2010*

MES	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ENE	1515530	1642357	1726441	1799412	1896562	2041944	2234024	2435598	2516697	2666271
FEB	1397368	1496595	1602116	1719874	1748495	1886383	2061689	2356581	2317114	2467978
MAR	1549298	1675176	1766772	1862846	1929430	2103256	2322942	2510507	2551704	2768429
ABR	1480229	1644548	1690104	1795181	1888448	1971090	2192630	2432084	2438874	2643435
MAY	1551242	1663627	1737336	1843697	1958820	2061227	2291421	2466399	2512941	2713538
JUN	1503637	1565071	1690787	1778579	1858038	1995141	2222155	2438684	2369257	2664570
JUL	1556104	1615422	1730406	1804415	1877739	2050679	2296686	2460585	2394807	2702844
AGO	1562968	1635379	1743742	1847153	1939118	2093295	2291136	2503699	2492807	2721527
SET	1541303	1642678	1697801	1816751	1907275	2061303	2228839	2470076	2476241	2668311
OCT	1615637	1709031	1785118	1864174	1989232	2154352	2359657	2553612	2541603	2785188
NOV	1569349	1651639	1737225	1844838	1971257	2137991	2334088	2441533	2536031	2764277
DIC	1620151	1716340	1780707	1926169	2037070	2206119	2419669	2489350	2659174	2860462
Σ	18462817	19657863	20688557	21903089	23001483	24762780	27254934	29558708	29807250	32426829
(%)	4.7%	6.5%	5.2%	5.9%	5.0%	7.7%	10.1%	8.5%	0.8%	8.8%

Nota: Tabla reproducida del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021 (www.coes.org.pe). COES SINAC.

Tabla 5.*Producción de energía eléctrica SEIN: periodo 2011-2021*

MES	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENE	2908028	3069964	3279276	3471861	3588307	3953632	4193908	4108215	4330680	4418086	4340657
FEB	2698837	2909029	3034371	3243708	3329626	3870052	3777337	3810892	3998374	4209804	3986070
MAR	2996681	3186836	3323200	3553946	3720896	4033478	4073567	4131864	4368957	3804986	4423338
ABR	2857888	3017549	3224951	3389227	3520819	3868678	3851679	4034715	4139658	2837945	4101121
MAY	2967993	3139503	3347258	3516644	3656698	3902907	4055078	4086769	4285288	3157092	4310363
JUN	2892273	3040818	3250311	3407751	3561387	3750786	3898657	3959623	4088704	3540570	4249047
JUL	2926972	3118870	3329237	3486954	3634412	3887349	3943699	4020318	4183470	3911346	4274777
AGO	2980133	3160610	3322500	3458032	3670279	3915227	3985851	4022440	4210879	4028539	4324610
SET	2903301	3043347	3232725	3358435	3589430	3833772	3881840	3929984	4055004	3946566	4269007
OCT	3015385	3146802	3380217	3503497	3780630	3977026	3999285	4130071	4243460	4211779	4368121
NOV	2977186	3167681	3321482	3427005	3711713	3927724	3922912	4063481	4194136	4152340	4295454
DIC	3092753	3260473	3426975	3523214	3954169	4109852	4056043	4279587	4382646	4362471	4469286
Σ	35217431	37261480	39472502	41340275	43718367	47030482	47639856	48577959	50481256	46581525	51411851
(%)	8.6%	5.8%	5.9%	4.7%	5.8%	7.6%	1.3%	2.0%	3.9%	-7.7%	10.4%

Nota: Tabla reproducida del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021 (www.coes.org.pe). COES SINAC.

Factor de Emisión OM simple.

El factor de emisión de margen operativo mediante el método simple se calcula como el promedio ponderado de las emisiones de CO2 por unidad de generación de electricidad neta (t CO2/MWh) de todas las plantas generadoras de energía que suministran electricidad al sistema, excluyendo las emisiones de CO2 de las plantas eléctricas de baja generación o costo (LC). (CDM, 2018)

Según (CDM, 2018), el factor de emisión del margen de operación se define:

$$FE_{OM\ simple} = \frac{\sum_i FC_{i,m,y} \times NCV_{i,y} \times FE_{co2,i,y}}{EG_y}$$

Donde:

$FE_{OM\ simple}$, es el factor de emisión de CO2 del margen operativo simple (tCO2/MWh), $FC_{i,y}$, es la cantidad de combustible tipo "i" consumido en el sistema eléctrico del proyecto en el año "y" $NCV_{i,y}$, es el valor calorífico neto (contenido de energía) del combustible tipo "i" en el año "y" (GJ/unidad de masa o volumen), $FE_{co2,i,y}$, Factor de emisión de CO2 del combustible tipo i en el año y (tCO2/GJ), EG_y , Electricidad neta generado y entregado a la red por todas las fuentes de energía que sirven al sistema, sin incluir plantas de energía de bajo costo (LC) de funcionamiento obligatorio, (MWh).

Se utilizan los datos de la opción "ex ant" que son el promedio de los últimos 3 años de producción de energía eléctrica de cada unidad de combustible (Tabla 6) y el consumo de combustible por tipo de generación (FC) (Tabla 7) (COES, 2021b). Los valores "ex ant" de los 3 años de cada unidad tiene su desarrollo en la tabla 22 y 23.

Tabla 6.

Producción de electricidad renovable por combustible EG.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR COMBUSTIBLE EG (GWh)				
Años	Gas Natural	Carbón	HFO ^a	Bagazo ^b
2010	11445.22	1066.92	872.66	77.48
2011	13462.2	732.4	531.5	84.3
2012	15336.7	555.5	354.8	133.4
2013	17058.49	836.59	254.2	194.62
2014	19940.35	163.21	87.69	146.11
2015	20709.39	248.09	214.13	90.5
2016	22505.24	772.9	656.21	86.51
2017	18269.00	673.7	874.05	81.7
2018	18947.8	43.1	103.3	93.8
2019	20016.3	36.15	74.04	186.3
2020	16978.49	13.02	52.44	244.06
2021	20389.02	28.35	29.18	276.82

Nota: ^a Combustible fuel oil residual, ^bel HFO, remanente del proceso de destilación del petróleo.

Según la metodología (CDM, 2018), se utilizan valores preestablecidos del (NCVi) de la tabla 8 y el factor de emisión de las fuentes de combustible (EFco2), que son tomados de la guía anual "Gases de Efecto Invernadero del Sector de Energía" (MINAM, 2016).

Tabla 7.*Consumo de combustible por tipo de generación FC.*

CONSUMO DE COMBUSTIBLES FC (ton).				
Años	Gas Natural	Carbón	HFO	Bagazo
2010	2801626	393150	231287	191050
2011	3275637	289100	141041	343400
2012	3461332	221500	113509	511300
2013	3350747	320487	75420	721201
2014	3876243	60321	26448	536278
2015	3992197	86551	59671	375747
2016	4399327	295006	171482	340493
2017	3575313	245493	254899	321840
2018	3487866	15811	39252	321856
2019	3762270	13238	25638	610046
2020	3133296	4698	15480	851085
2021	3839477	10475	10417	914049

Nota: Datos expresados en Toneladas. Tabla adaptada del COES SINAC. 2021 (www.coes.org.pe).

Tabla 8.*Valor calorífico neto (NCV) y factor de emisión (FE) de las fuentes de combustible.*

Tipo de combustible	NCV GJ/t (fuel)	FE (tCO ₂ /TJ)	FE tCO ₂ /t(fuel) ^a
Gas Natural	48	56.1	2.69
Carbón	29.5	112	3.30
Diesel D2	43	74.1	3.19
Bagazo ^b	11.6	100	1.16

Nota: ^aFE [tCO₂/t(fuel)] = [NCV (GJ/t(fuel)) * FE (tCO₂/TJ)]/1000.

Para obtener la producción neta suministrada a la red de todas las fuentes de energía, (EG) se suma la electricidad promedio de los últimos 3 años (ex ant). (CDM, 2018)

Margen de construcción FEBM SET 5.

La metodología del CDM, (2018) establece que, para calcular el factor de emisión de un sistema eléctrico, se debe usar el conjunto de unidades de potencia que generan la mayor cantidad de electricidad anual. El margen de construcción se compone de dos conjuntos: SET5 y SET ≥ 20%. Si SET 5 genera más electricidad que SET ≥ 20%, se utiliza SET5 para el cálculo, de lo contrario, SET ≥ 20% es utilizado.

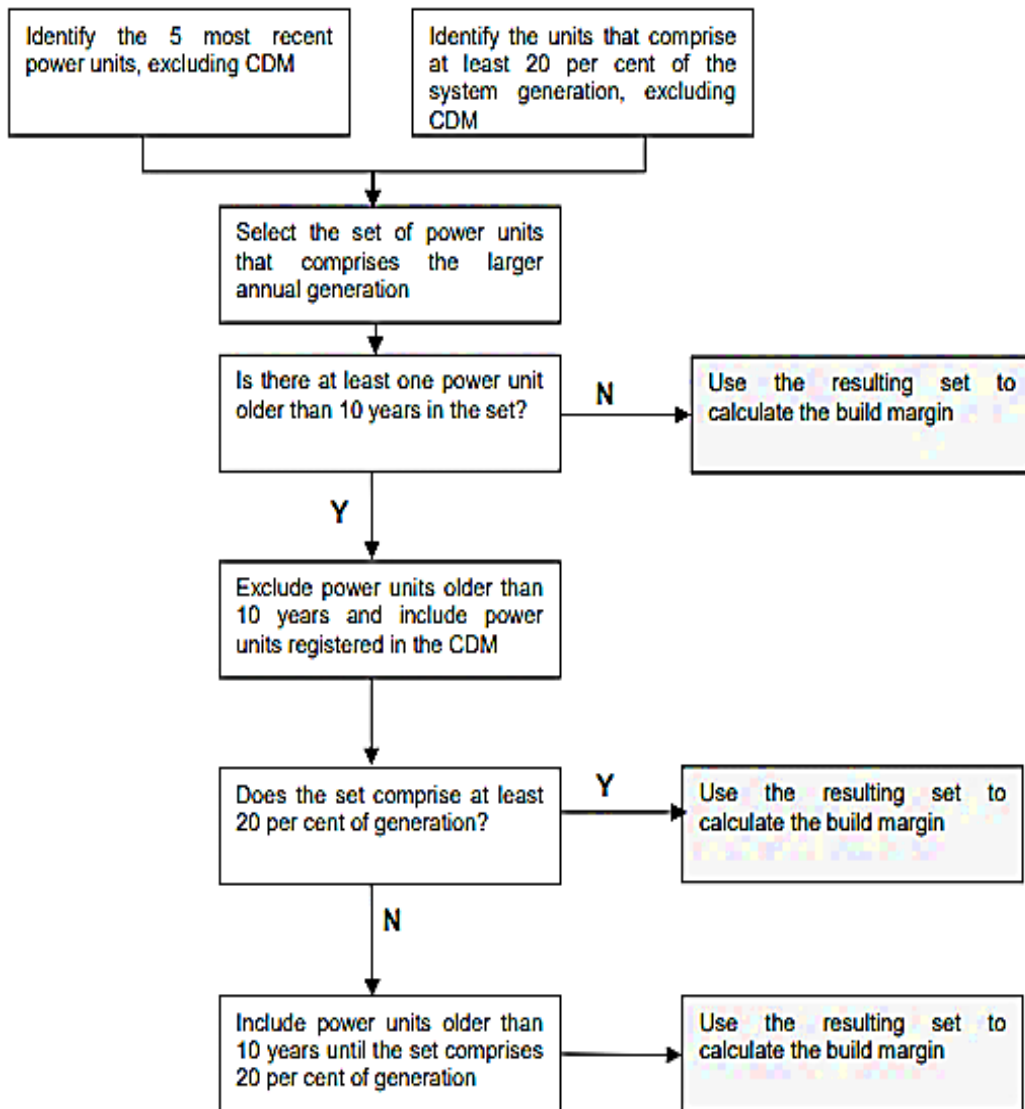
En la figura 1, la herramienta metodológica indica cómo seleccionar las unidades de potencia necesarias para calcular el margen de construcción. En el año 2021, la generación total fue de 5 277 449 MWh, Se agrega unidades de energía eléctrica hasta que el conjunto alcance al menos el 20% de la generación total, tal y como se desarrolla en la tabla 9, la comparación de resultados revela que el conjunto indicado es SET_{sample} = SET ≥ 20%.

Según la metodología del CDM, (2018) el $FE_{BM\ set\ 5}$ se refiere al promedio ponderado del factor de emisión de CO2 por generación de todas las unidades de potencia durante el año más reciente en el que se tienen datos de generación de electricidad.

$$FE_{BM\ SET\ 5} (tCO_2/MWh) = \frac{\sum_i EG_{m,y} \times FE_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}}$$

Figura 1.

Elección del conjunto de muestra de unidades de potencia.



Nota: Imagen reproducida del MDL versión 07, 2018

Tabla 9.

Conjunto de unidades eléctricas construidas más recientemente que generan al menos el 20% de la electricidad total de la red, SET 20%

UNIDADES AEG SET-5						
UNIDAD DE ENERGÍA	ENERGÍA PLANTA	FECHA DE INICIO	TIPO DE COMBUSTIBLE	CAPACIDAD INSTALADA MW	ELECTRICIDAD NETA A LA RED EN 2021 FÓSILES + RENOVABLES	CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2014 (EXCLUYENDO RENOVABLES) (T)
AEROG	ENEL GREEN	30.01.2018	SOLAR	144.48	443.60	N/A
TG6	ENEL	25.02.2017	G.N.	35	3456.05	686 733
G1 G2 G3		12.11.2021		3.2		
G1 G2	PETRAMAS	31.08.2015	BIOGAS	2.4	78.70	44 569
G1 G2		29.08.2018		2.4		
G1 G2		13.07.2020		2.4		
TV1	AGROAURORA	17.08.2012	BAGAZO	37.5	54.89	126 950
TV1	AISPA.	17.03.2010	BAGAZO	20	98.10	277 562
TV1 TV2	BIOENERGIA	02.10.2019	BAGAZO	12	74.10	286 050
TV1	SAN JACINTO	13.04.2019	BAGAZO	7.48	49.73	160 875

Nota: Tabla adaptada del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021 (www.coes.org.pe).

E3 PRECIO SOCIAL DE CARBONO.

Según la Metodología de Análisis Socioeconómico (2020), la evaluación del precio social del carbono es una herramienta para medir el impacto total que un proyecto tiene en la sociedad, esto se logra asignando un valor monetario a los efectos positivos o negativos de factores externos creados por las plantas de energía renovable en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. El cálculo que se obtiene para el precio social del carbono según la metodología es de US\$ 7.17 tCO₂, ver la tabla 10.

Tabla 10.

Precio social de carbono en dólares equivalentes \$

PARÁMETRO	US\$ por Tonelada de Carbono
Precio social del carbono CO ₂	7.17

Nota: Extraído del informe técnico PSC. 2018

Según lo establecido en el anexo N° 11 de los Parámetros de Evaluación Social (MEF, 2021), para calcular el beneficio de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se debe restar la cantidad total de emisiones sin fotovoltaica de la cantidad total de emisiones con fotovoltaica y multiplicar esta diferencia por 7.17 dólares por tonelada de CO₂, que es el precio social del carbono (PSC).

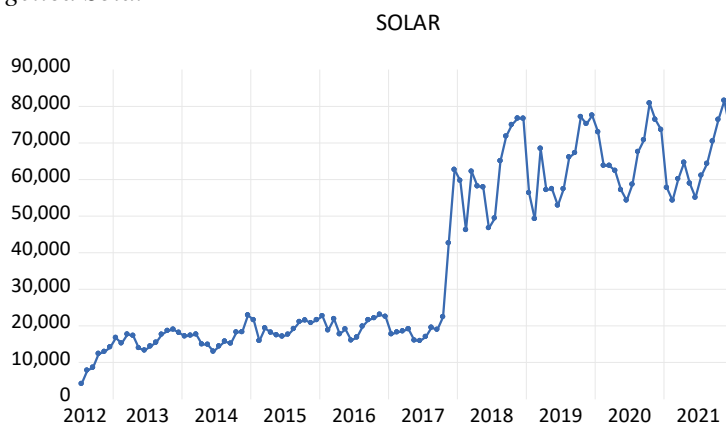
RESULTADOS:

E1: ENERGIA ELECTRICA.

Según el COES (2021), la producción de energía en SEIN sin considerar energía solar ni eólica aumentó un 10% respecto al año anterior, llegando a 51,411,851.47 MW h., la producción de energía solar fotovoltaica fue de 777 860.27 MWh, un aumento del 3% respecto al año anterior. Los sistemas energéticos han experimentado valores inusuales de impulsos y caídas, como se observa en las figuras 2 y 3. Para resolver las series, se empleó un modelo de regresión como se indica en la metodología de (Novales, 2010), que incorporó tanto variables atípicas como de impulso.

Figura 2.

Producción energética Sola.



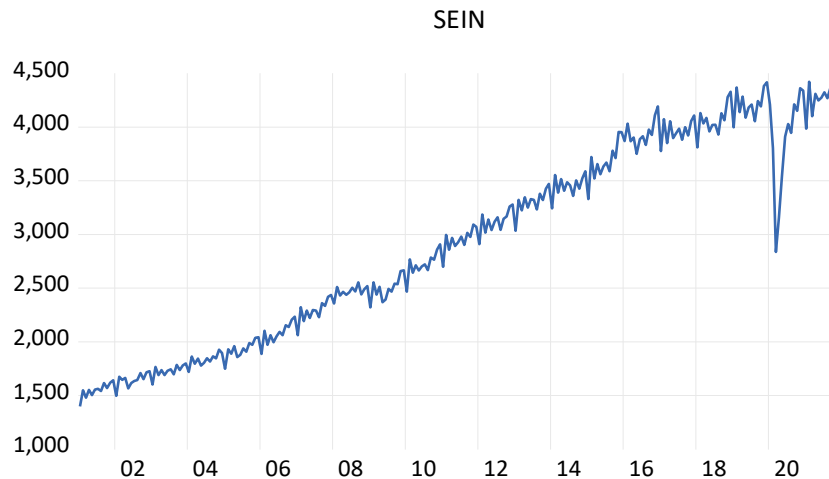
Nota: Extraído del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021

Identificación del modelo SEIN:

A partir de la importancia de la producción energética de las variables indicativas dependientes SEIN, Solar, como pronósticos congruentes se establece proyectar su comportamiento a futuro mediante el modelo de Regresión Autoregresivo. (Pilar et al., 2009).

Figura 3.

Producción energética SEIN



Nota: Extraído del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional 2021

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 3, el modelo de producción de energía eléctrica SEIN no muestra estacionariedad, si presenta variables aleatorias o atípicas y estacionalidad con una tendencia creciente (Box, 2013).

Para mejorar la aleatoriedad de la serie se incluyeron variables de impulso, sin embargo, al analizar la estimación de la serie, se encontró que el estadístico de Jarque Bera tiene un valor de 0.00 con una probabilidad mayor a 0.1, lo que llevó a la aceptación de la hipótesis nula y los residuos no siguen una distribución normal.

Por lo tanto, debido a que las variables de impulso no pudieron mejorar la normalidad del pronóstico según (Morales-Oñate, 2022) ,se decidió descartar la serie y, en su lugar, extraer las variables atípicas y reemplazarlas por variables proyectadas.

Estimación 2020 SEIN

Resolvemos el problema de normalidad con la estimación del modelo MCO al prever el periodo atípico del modelo autoregresivo mediante la ecuación SARIMA (1,1,0) x (0,1,12). La tabla 11 muestra los p valor > 0.05, y nos indica la significatividad de las variables, los coeficientes menores a 1 sugieren un modelo autoregresivo AR y reversible a MA. Una vez establecida la serie SEIN 2020, se puede pronosticar su comportamiento. La muestra de la serie es estacionaria en S D (LOG SEIN 2020). Según (Morales-Oñate, 2022) la no estacionariedad afecta las propiedades de los MCO y los procedimientos convencionales de inferencia estadística, el test ADF de los residuos de la tabla 12 confirma que la serie es estacionaria y adecuada para la predicción autoregresivo al no tener raíz unitaria.

Tabla 11.*Estimación de la ecuación de la serie SEIN a proyectar, periodo 2020*

VARIABLE	COEFICIENTE	STD. ERROR	T-STATISTIC	PROB.
C2016M3	-0.024779	0.006104	-4.059688	0.0001
C2017M2	-0.019288	0.007085	-2.722368	0.0070
C2008M2	0.011601	0.003726	3.11324	0.0021
AR(1)	-0.259886	0.064437	-4.033166	0.0001
MA(12)	-0.917383	0.101127	-9.07161	0.0000
SIGMASQ	0.000147	1.90E-05	7.780715	0.0000

Nota: Análisis de la estimación de la serie, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).**Tabla 12.***Prueba de raíz unitaria SEIN_2020.*

Ho: RESID_SEIN2020 HAS A UNIT ROOT	T-STATISTIC	PROB.
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-14.89486	0.0000
Test critical values:		
	1% level	-3.460884
	5% level	-2.874868
	10% level	-2.573951

Nota: Análisis de la estimación de la serie, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).**Inferencia estadística SEIN:**

Según (Box, 2013), los coeficientes de auto correlación (FAC) son significativos, la prueba Q de Ljung-Box muestra que no hay autocorrelación en la mayoría de las variables: P valor > 0.05 por lo tanto no hay presencia de ruido blanco (las variables aleatorias que no están correlacionadas) en los residuos.(figura 4).

Figura 4.*Prueba Q de Ljung-Box, Correlograma de los residuos: serie SEIN_ 2020*

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*	
		1	-0.023	-0.023	0.1114	
		2	-0.112	-0.112	2.8425	
		3	-0.095	-0.102	4.8236	0.028
		4	0.069	0.051	5.8632	0.053
		5	-0.062	-0.083	6.7272	0.081
		6	0.011	0.011	6.7557	0.149
		7	0.045	0.043	7.2159	0.205
		8	-0.005	-0.019	7.2212	0.301
		9	-0.035	-0.015	7.4992	0.379
		10	-0.063	-0.067	8.4117	0.394
		11	0.144	0.134	13.159	0.156
		12	-0.096	-0.109	15.298	0.122
		13	-0.003	0.014	15.300	0.169
		14	-0.000	0.009	15.300	0.225
		15	0.095	0.055	17.392	0.182
		16	-0.162	-0.133	23.533	0.052
		17	-0.078	-0.083	24.964	0.050
		18	0.083	0.064	26.615	0.046
		19	0.041	-0.009	27.006	0.058
		20	-0.163	-0.153	33.340	0.015
		21	-0.011	0.005	33.369	0.022
		22	0.004	-0.076	33.373	0.031
		23	0.010	0.026	33.398	0.042
		24	-0.076	-0.095	34.827	0.040

Nota: Análisis de la estimación de la serie, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Según la tabla 13 el modelo no presenta problemas de heteroscedasticidad condicionada y autoregresivo en 1 rezago y la probabilidad es mayor que 0.1 esto significa según (Morales-Oñate, 2022) que no hay una relación sistemática entre los errores y las variables explicativas.

Tabla 13.

Prueba de Heterocedasticidad ARCH de la serie SEIN_2020

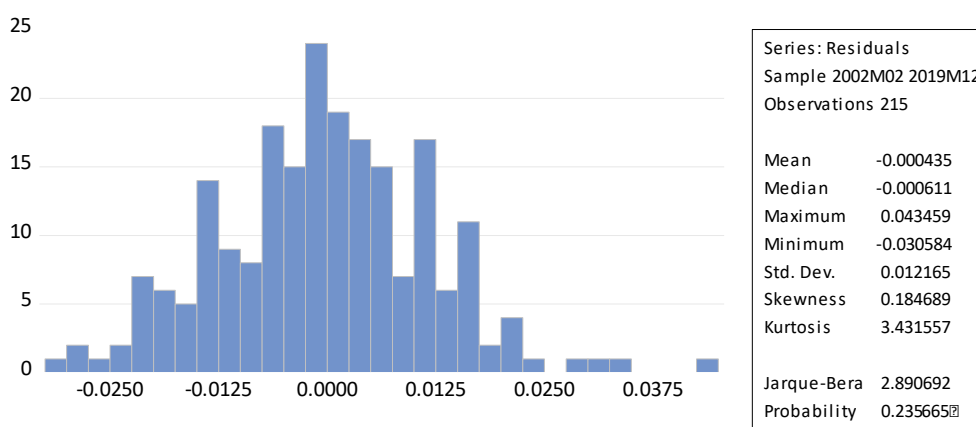
HETEROSKEDASTICITY TEST: ARCH			
F-statistic	2.142899	Prob. F (1,212)	0.1447
Obs*R-squared	2.141469	Prob. Chi-Square (1)	0.1434

Nota: Análisis de la estimación de la serie, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Finalmente, la figura 5 muestra el estadístico de Jarque Bera es $p\text{-valor} = 0.24 > 0.05$ se acepta H_0 . y confirmamos la normalidad de la serie. (Morales-Oñate, 2022)

Figura 5.

Normalidad de la serie SEIN_2020



Nota: Análisis de la estimación de la serie, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Pronostico:

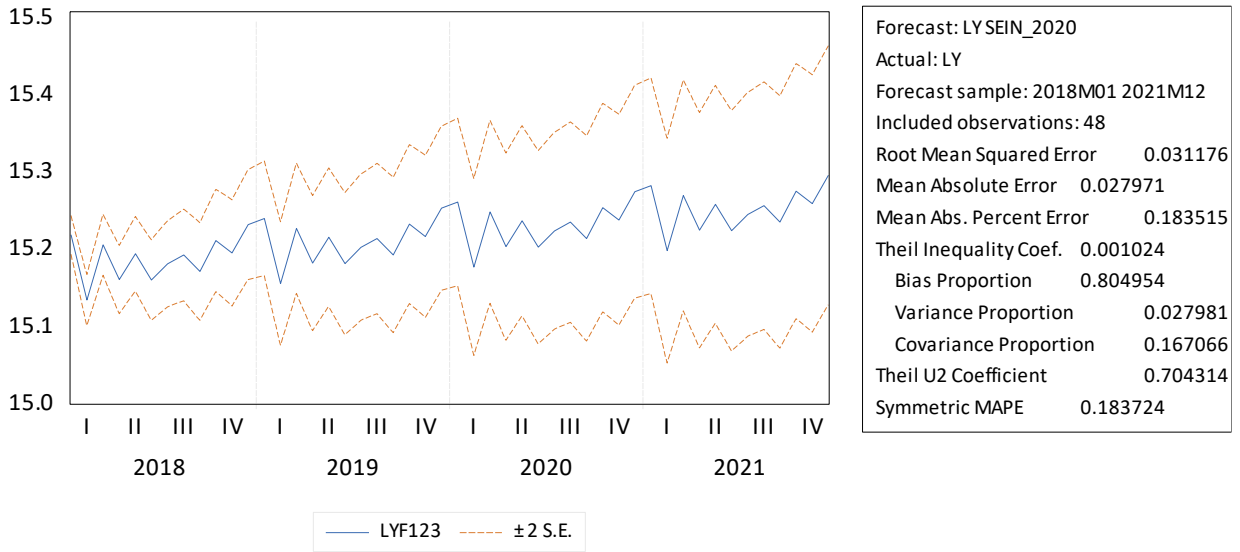
La Figura 6, nos muestra que el coeficiente de Theil es 0.8 y según (Morales-Oñate, 2022) mientras el sesgo del pronóstico tienda a 0, más confiable es el pronóstico.

Por otro lado, la varianza indica buena capacidad de réplica ya que los errores en el modelo son muy pequeños y casi no hay dispersión alrededor de los valores ajustados (cercana a 0) y La covarianza es 0.17 y es relativamente mayor a la varianza esto indica que el error de predicción es pequeño.

Una vez realizado el análisis de estimación de la serie la tabla 14 muestra el modelamiento para los valores de pronóstico de la serie SEIN 2020.

Figura 6.

Estadístico de THEIL. Pronóstico de la serie SEIN 2020.



Nota: Análisis de la estimación de la serie, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Tabla 14.

Valores de pronóstico de la serie SEIN 2020

	2020
Enero	4269180.23
Febrero	3924676.38
Marzo	4215341.57
Abril	4030350.71
Mayo	4166424.86
Junio	4027252.95
Julio	4113086.11
Agosto	4160148.85
Setiembre	4072252.55
Octubre	4238170.36
Noviembre	4171144.49
Diciembre	4326185.41

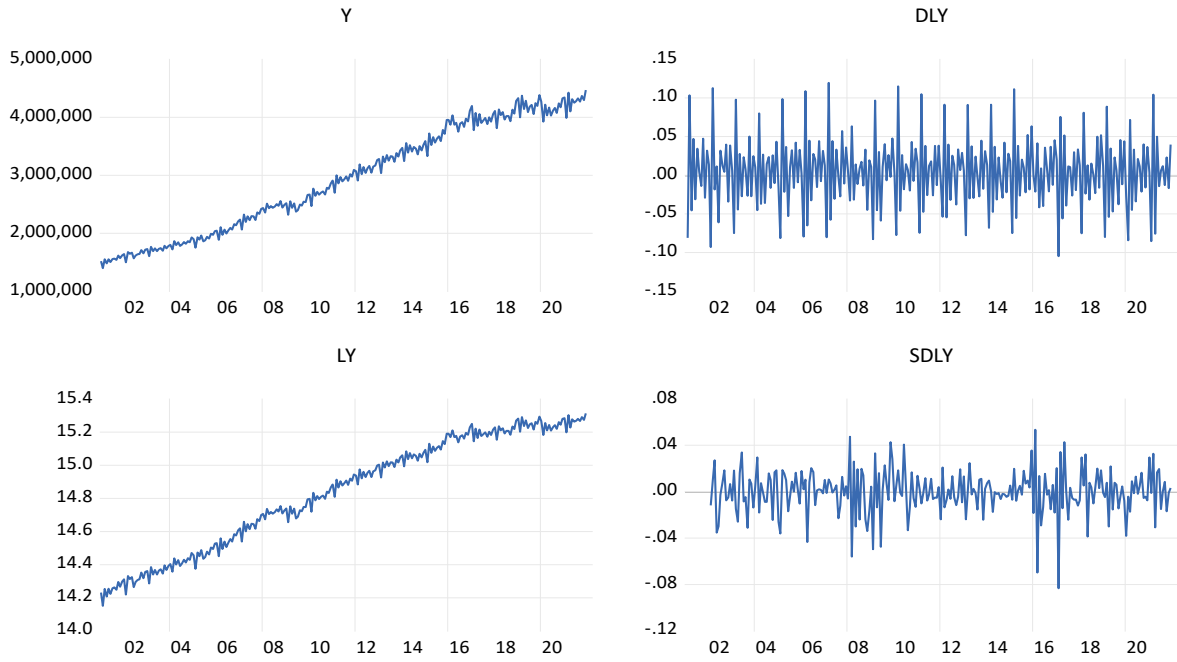
Nota: Predicción, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Identificación SEIN-SOLAR

Se pronostica el comportamiento de la serie SEIN y la serie Solar para el año 2030. La Figura 7 indica que la serie SEIN es estacionaria en SD (LOG Y), por otro lado, la serie es estacionaria en D (LOG Z), como se indica en la Figura 8.

Figura 7.

Energía logarítmica diferenciada y estacional $t=12$ Energía _SEIN (Y), SD (LOG Y)

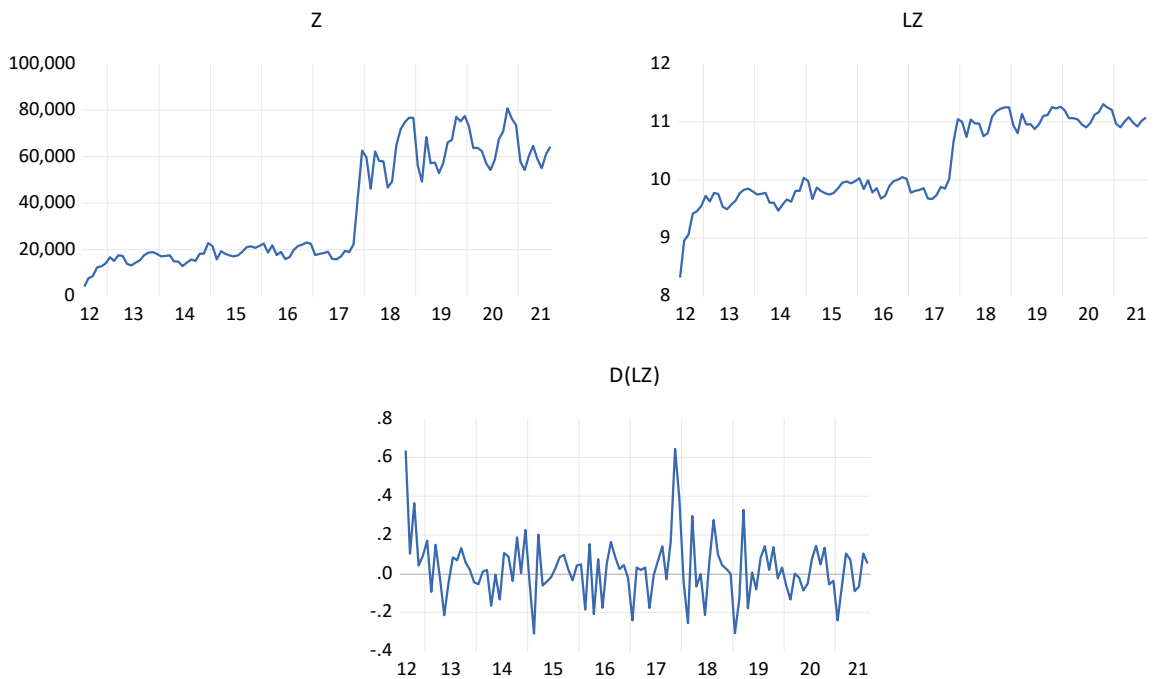


Nota: Predicción, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Al estudiar las series SEIN y Solar, se determinó que son estocásticas y no estacionarias, lo que significa que su media y varianza cambian con el tiempo. Se aplicó un patrón mensual y técnicas de análisis para estudiar su estacionalidad. (Morales-Oñate, 2022)

Figura 8.

Serie: logaritmo, 1era diferencia y estacional $t=12$, Energía _Solar (Z), D (LOG Z)



Nota: Predicción, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Estimación SEIN y SOLAR

La ecuación para el modelamiento autoregresivo de la serie SEIN es: SARIMA (1,1,0) x (0,1,12)₁₂. Los resultados estadísticos de las variables, que se muestran en la tabla 15, indican que las variables estimadas son significativas.

Para garantizar la normalidad de la ecuación de la serie se agregaron cuatro variables de impulso significativas, que también son modelos AR (1) y SMA (12). Con este modelo, se puede predecir el comportamiento de la serie SEIN. La figura 7 muestra que la serie es estacionaria en SD (LOG SEIN). (Box, 2013).

La ecuación del modelamiento autoregresivo de la serie Solar es: SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)₁₂. La tabla 16 muestra que las probabilidades estadísticas de las variables de impulso C2017m11 C2017m12 no son significativas, las variables son significativas autoregresivo en SAR (12) AR (1) y de promedio móviles en SMA (12) MA (1). Los coeficientes son menores a 1 por lo tanto el modelo estimado es autoregresivo AR y es reversible en MA. Con el modelo se predice el comportamiento de la serie Solar, la figura 8 muestra estacionariedad en: D (LOG Solar). (Box, 2013)

Tabla 15.

Estimación de la ecuación de la serie SEIN D (LY,1,12)

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	T-STATISTIC	PROB.
C2008M2	0.007779	0.003749	2.075138	0.0391
C2016M3	-0.023416	0.004314	-5.428218	0.0000
C2016M2	0.037226	0.015848	2.348959	0.0197
C2017M2	-0.053359	0.015108	-3.531784	0.0005
AR(1)	-0.249732	0.058274	-4.285504	0.0000
MA(12)	-0.944180	0.106522	-8.863681	0.0000
SIGMASQ	0.000141	1.81E-05	7.795797	0.0000

Nota: Predicción, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Tabla 16.

Estimación de la ecuación de la serie Solar D (LOG Solar).

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	T-STATISTIC	PROB.
C2012M8	0.548697	0.144405	3.799716	0.0002
C2017M11	0.626865	0.693663	0.903702	0.3682
C2017M12	0.362714	0.446873	0.811671	0.4188
AR(1)	0.029815	2.54E-06	11717.13	0.0000
AR(12)	0.970182	0.001601	605.9997	0.0000
MA(1)	-0.177690	0.044030	-4.035701	0.0001
MA(12)	-0.821654	0.043865	-18.73133	0.0000
SIGMASQ	0.009045	0.001311	6.899722	0.0000

Nota: Predicción, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Según la metodología de Q de Ljung-Box (Box, 2013), se aplicó el test ADF para verificar el supuesto estadístico de raíz unitaria y se comprobó que la serie SEIN es estacionaria, rechazamos la H₀ con el P valor de 0.000 < 0.1 (Tabla 17). También se utilizó el test ADF, donde la serie Solar es estacionaria, rechazamos la H₀ con un valor de P de 0,000 < 0.1 (Tabla 18). Ambas pruebas indican que las series son adecuadas para la predicción autoregresivo SARIMA.

Tabla 17.*Prueba de raíz unitaria de los residuos, SEIN.*

Ho: RESID_SEIN2020 HAS A UNIT ROOT		T-STATISTIC	PROB. *
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-15.92609	0.0000
Test critical values:	1% level	-3.460884	
	5% level	-2.874868	
	10% level	-2.573951	

Nota: metodología, Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).**Tabla 18.***Test de raíz unitaria de los residuos, Solar.*

Ho: RESID_SEIN2020 HAS A UNIT ROOT		T-STATISTIC	PROB. *
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-11.99020	0.0000
Test critical values:	-3.489659	-3.460884	
	-2.887425	-2.874868	
	-2.580651	-2.573951	

Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).**Inferencia Estadística SEIN y Solar**

Tanto el correlograma de la figura 9 en relación a la inferencia estadística SEIN, como el correlograma de la figura 10 en relación a la inferencia estadística SOLAR, indican que no hay problemas de auto correlación en el FAC. Esto se debe a que las bandas de control no superan los límites de control y el estadístico Q de Ljung-Box no muestra significancia estadística con un valor de p mayor a 0.05. En conclusión, no hay autocorrelación en los residuos. (Box, 2013)

Figura 9.*Prueba Q de Ljung-Box, Correlograma de los residuos: serie Sein.*

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*	
		1	-0.136	-0.136	2.1459	
		2	0.017	-0.002	2.1786	
		3	0.005	0.007	2.1819	
		4	-0.025	-0.024	2.2586	
		5	0.031	0.025	2.3734	0.123
		6	-0.026	-0.018	2.4524	0.293
		7	-0.036	-0.043	2.6088	0.456
		8	0.019	0.008	2.6547	0.617
		9	0.005	0.011	2.6578	0.753
		10	-0.020	-0.020	2.7092	0.844
		11	0.137	0.134	5.1125	0.646
		12	-0.151	-0.118	8.0598	0.428
		13	0.176	0.146	12.075	0.209
		14	-0.008	0.028	12.082	0.280
		15	-0.088	-0.083	13.100	0.287
		16	-0.024	-0.058	13.176	0.356
		17	0.038	0.051	13.367	0.420
		18	-0.179	-0.192	17.761	0.218
		19	-0.036	-0.088	17.936	0.266
		20	-0.034	-0.033	18.094	0.318
		21	0.075	0.075	18.896	0.335
		22	-0.015	-0.045	18.927	0.396
		23	0.060	0.121	19.442	0.429
		24	0.124	0.097	21.684	0.358

Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Figura 10.

Prueba Q de Ljung-Box, Correlograma de los residuos: serie Solar

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*	
		1	-0.035	-0.035	0.3004	
		2	-0.143	-0.145	5.2768	
		3	-0.032	-0.044	5.5228	0.019
		4	0.058	0.035	6.3463	0.042
		5	-0.096	-0.105	8.5953	0.035
		6	0.034	0.039	8.8795	0.064
		7	0.040	0.018	9.2698	0.099
		8	-0.019	-0.017	9.3568	0.154
		9	-0.032	-0.013	9.6063	0.212
		10	-0.081	-0.102	11.261	0.187
		11	0.103	0.097	13.933	0.125
		12	-0.072	-0.092	15.236	0.124
		13	-0.026	-0.015	15.408	0.165
		14	-0.026	-0.038	15.579	0.211
		15	0.093	0.056	17.790	0.166
		16	-0.159	-0.140	24.293	0.042
		17	-0.056	-0.068	25.102	0.049
		18	0.118	0.083	28.732	0.026
		19	0.066	0.035	29.868	0.027
		20	-0.132	-0.096	34.457	0.011
		21	-0.027	-0.028	34.655	0.015
		22	0.006	-0.058	34.665	0.022
		23	-0.017	0.004	34.737	0.030
		24	-0.085	-0.115	36.668	0.026

Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Las tablas 19 y 20 muestran la prueba ARCH de heteroscedasticidad para los modelos SEIN y Solar respectivamente. En ambas figuras, se puede observar que el modelo no tiene problemas de heteroscedasticidad condicional y autoregresivo en el tiempo 1 con una probabilidad mayor a 0. lo que lleva a aceptar la hipótesis nula según (Box, 2013).

Figura 19.

Prueba de Heteroscedasticidad ARCH de la serie SEIN

HETEROSKEDASTICITY TEST: ARCH			
F-statistic	2.475706	Prob. F(1,236)	0.1170
Obs*R-squared	2.470768	Prob. Chi-Square(1)	0.1160

Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Figura 20.

Prueba de Heteroscedasticidad ARCH de la serie Solar

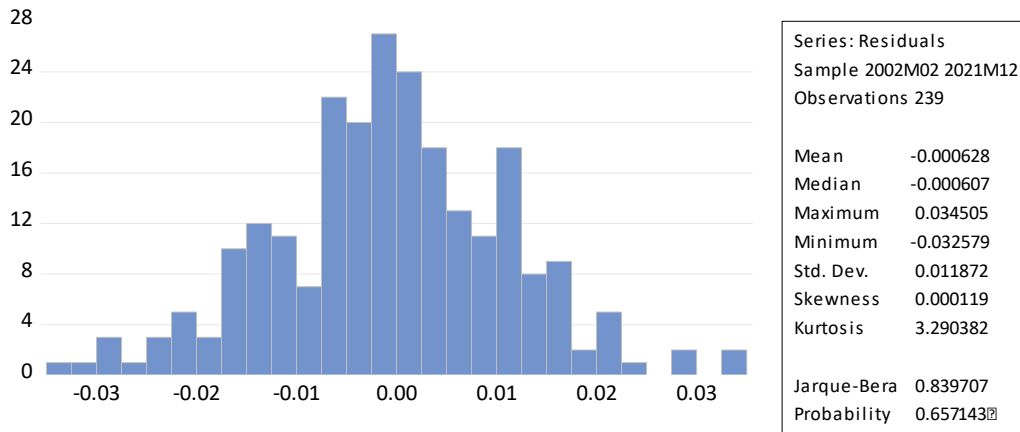
HETEROSKEDASTICITY TEST: ARCH			
F-statistic	0.051269	Prob. F(1,110)	0.8213
Obs*R-squared	0.052177	Prob. Chi-Square(1)	0.8193

Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Se utilizó el estadístico de Jarque Bera para verificar si los residuos de las series SEIN y Solar seguían una distribución normal. En la figura 11 se observa que los residuos de la serie SEIN presentan una distribución normal (p-valor = 0.66 > 0.05). De manera similar, en la figura 12 se observa que los residuos de la serie Solar también siguen una distribución normal (p-valor = 0.2 > 0.05), no se rechaza la Ho (Box, 2013).

Figura 11.

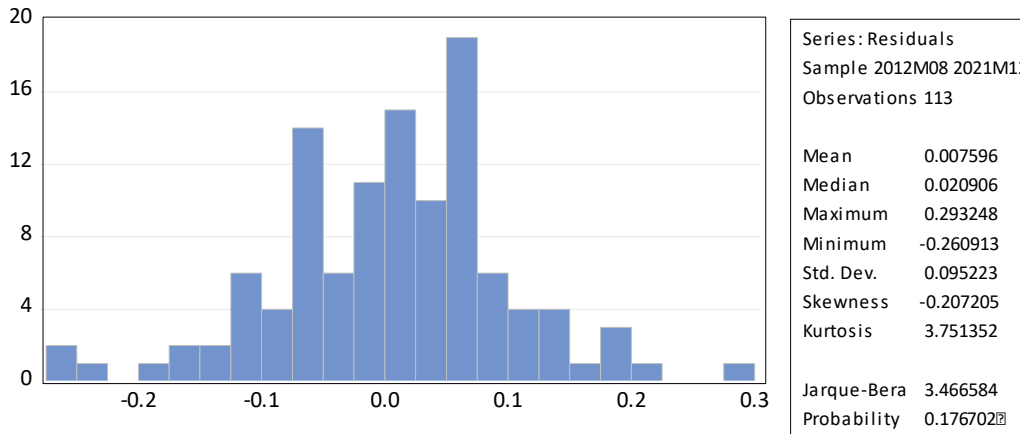
Normalidad de la serie SEIN.



Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Figura 12.

Normalidad de la serie Solar.



Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

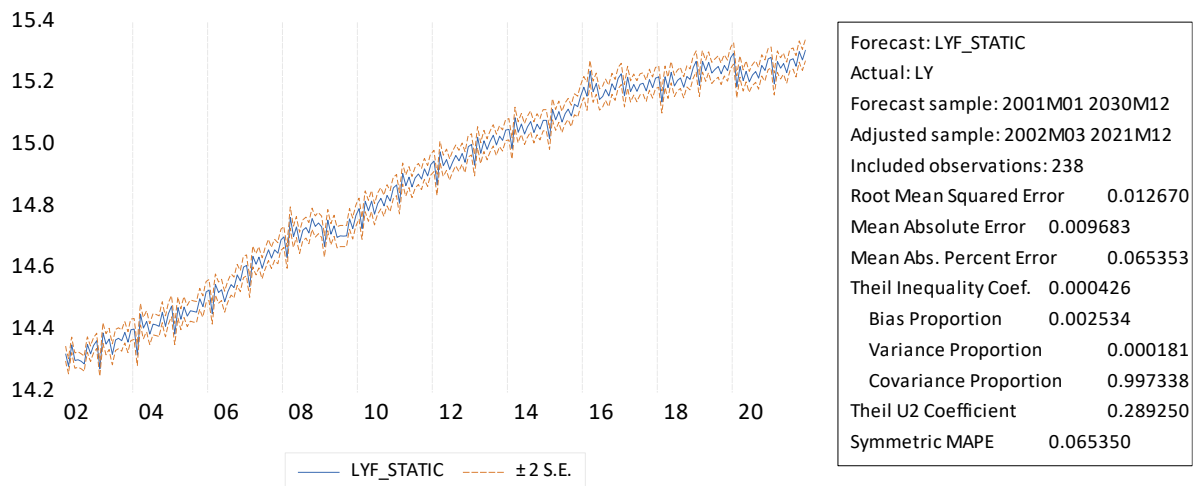
Pronostico:

La figura 13 presenta el estadístico de Theil para la serie SEIN con un coeficiente confiable de 0.000426 que tiende a 0. El sesgo de pronóstico es 0.0025 y la varianza es significativamente menor (0.00181) lo que indica una buena capacidad de réplica, la media de la covarianza es mayor que la varianza (0.99) lo que indica que el error de predicción es pequeño (Box, 2013).

La figura 15 nos muestra datos de pronóstico para 2030 y según la metodología de Box Jenkins (Box, 2013) se concluye que no hay diferencia gráfica entre los datos proyectados y la serie real, la tabla 21 muestra que la producción energética promedio en los sistemas SEIN será de 5188821 MWh. para 2030. Además, la figura 17 indica que la capacidad de potencia anual del SEIN aumentará en un 2.3% para el 2030.

Figura 13.

Estadístico de THEIL. Pronóstico de la serie SEIN 2020.



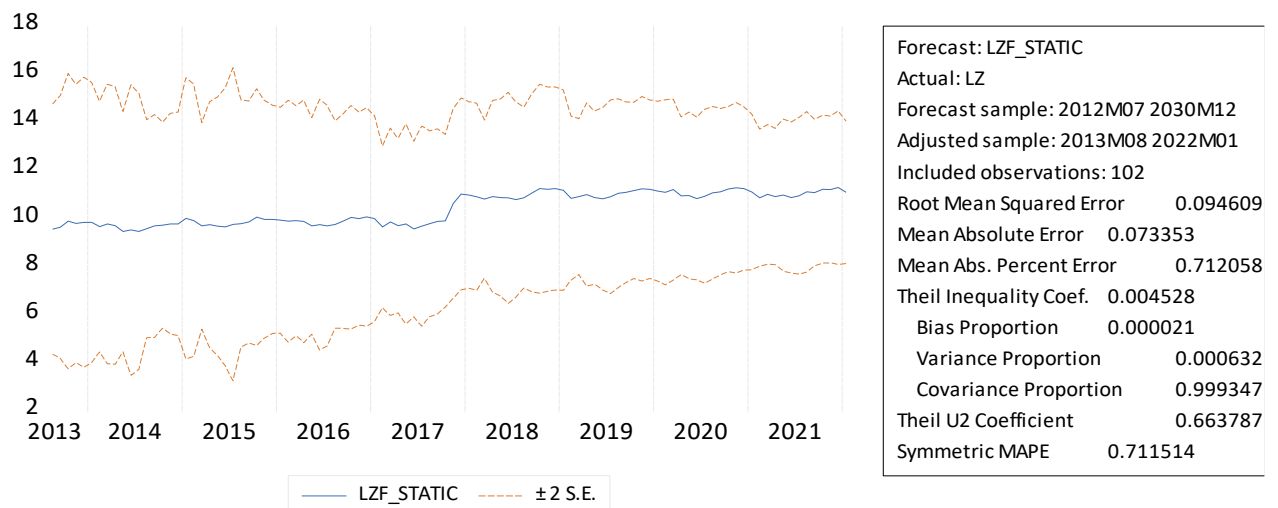
Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

La figura 14 muestra el estadístico Theil para la serie Solar, con un coeficiente de $4.5E-03$ que indica un pronóstico confiable. El sesgo de pronóstico es $2.1E-08$ y la varianza es significativamente menor ($6.3E-04$), lo que indica una buena capacidad de réplica. La media de la covarianza es mayor que la varianza (0.7) lo que indica un error de predicción pequeño.

La figura 16 muestra datos de pronóstico para 2030 y según la metodología de Box Jenkins (Box, 2013) no hay diferencia gráfica entre los datos proyectados y la serie real, la tabla 21 muestra que la producción energética promedio en los sistemas fotovoltaicos será de 129 753 MWh. para 2030. Además, la figura 17 indica que, bajo las mismas condiciones de crecimiento, la capacidad de potencia anual de los sistemas fotovoltaicos aumentará en un 6.1% para el 2030.

Figura 14.

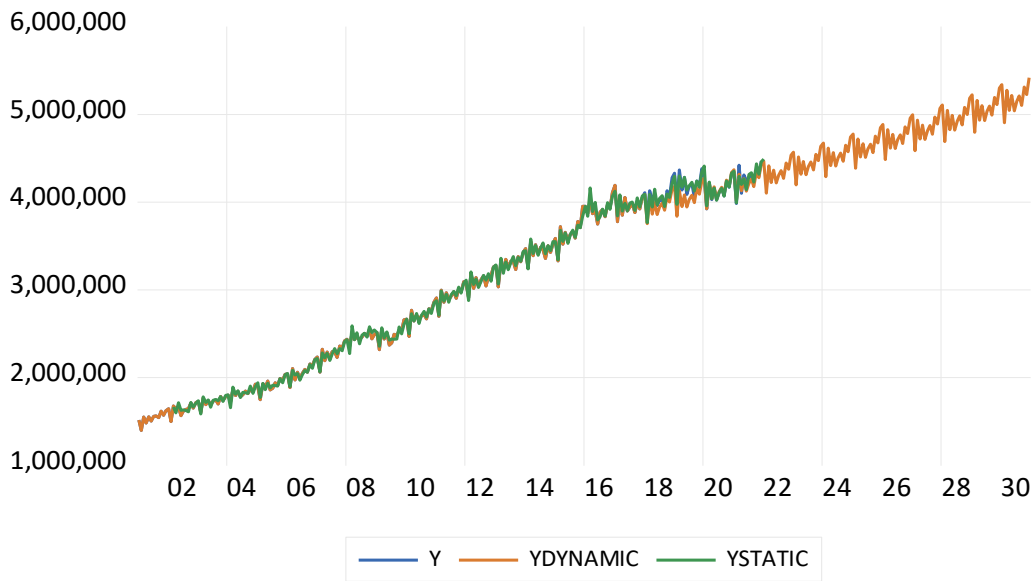
Estadístico de THEIL. Pronóstico de la serie Solar



Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia).

Figura 15.

Pronóstico dinámico de la serie SEIN 2020.



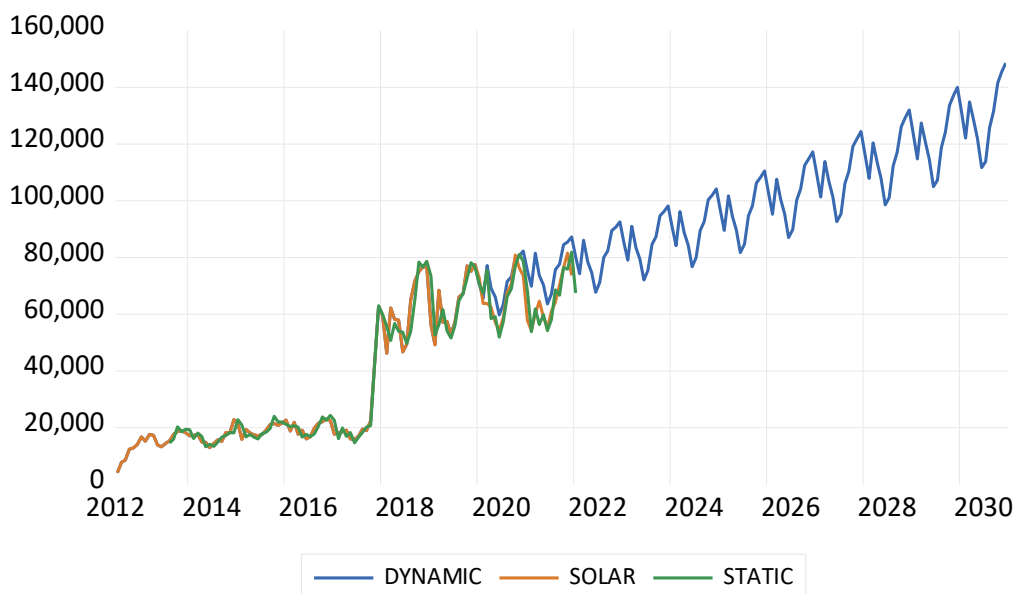
Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 valores expresados en MWh.

Los datos de pronóstico de las series SEIN y Solar (figura 15 y 16) no presentan una diferencia significativa en comparación con la serie real.

La tabla 21 proporciona información detallada sobre la producción energética promedio en sistemas SEIN y Solar, indicando que la producción energética promedio en sistemas SEIN y Solar será de 5188821MWh y 129 753 MWh, respectivamente esto sugiere un aumento significativo en la producción de energía solar, lo que podría ser una buena noticia para aquellos que dependen de la energía renovable y para el medio ambiente en general (Kumar Behura et al., 2021).

Figura 16.

Pronóstico dinámico de la serie Solar 2030.



Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 valores expresados en MWh.

Tabla 21.

Valores de pronóstico de la serie SEIN y serie Solar 2030.

Periodo 2030	SEIN MWh	Solar MWh
Enero	5342331.22	131601.26
Febrero	4905654.88	122080.84
Marzo	5277432.02	134801.02
Abril	5048507.84	128478.24
Mayo	5217904.83	121918.89
Junio	5042704.59	111680.14
Julio	5150420.36	113794.72
Agosto	5212099.64	125693.52
Setiembre	5105074.48	131538.95
Octubre	5313996.20	141527.76
Noviembre	5228785.40	145424.84
Diciembre	5420941.86	148501.19
Promedio	5188821	129753

Nota: Análisis de estacionalidad Box Jenkins, Eviews 12 (fuente propia), valores expresados en (MWh).

La serie solar exhibe un crecimiento que es un 3.8% superior al de la serie SEIN.

E2: Factor de emisión combinado (FECM)

Para calcular el grado de influencia del índice carbono en las emisiones, necesitamos resolver la ecuación del factor de emisión combinado FECM. Para ello, resolvemos los valores ex ant de consumo y producción de energía del COES (2021)

Tabla 22.

Valores “ex ant”, consumo de combustible.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (toneladas)				
Años	Gas Natural	Carbón	HFO	Bagazo
2010	2801626	393150	231287	191050
2011	3038632	341125	186164	267225
2012	3179532	301250	161945	348583
2013	3362572	277029	109990	525300
2014	3562774	200769	71792	589593
2015	3739729	155786	53846	544409
2016	4089256	147293	85867	417506
2017	3988946	209017	162017	346027
2018	3820835	185437	155211	328063
2019	3608483	91514	106596	417914
2020	3461144	11249	26790	594329
2021	3578348	9470	17178	791727

Nota: F.E. ACM002 (2022), promedio de consumo de 3 años, valores expresados en toneladas (t).

Tabla 23.

Valores ex ant Producción de Electricidad

PRODUCCION DE ELECTRICIDAD (GWh)				
Años	Gas Natural	Carbón	HFO	Bagazo
2010	11445.22	1066.92	872.66	77.48
2011	12453.71	899.66	702.08	80.89
2012	13414.71	784.94	586.32	98.39
2013	15285.80	708.16	380.17	137.44
2014	17445.18	518.43	232.23	158.04
2015	19236.08	415.96	185.34	143.74
2016	21051.66	394.73	319.34	107.71
2017	20494.54	564.90	581.46	86.24
2018	19907.35	496.57	544.52	87.34
2019	19077.70	250.98	350.46	120.60
2020	18647.53	30.76	76.59	174.72
2021	19127.94	25.84	51.89	235.73

Nota: F.E. ACM002 (2022), promedio de producción de 3 años, valores expresados en GWh.

Para calcular el factor de emisión del margen operativo FEOM del sistema interconectado nacional, se reemplazan los datos de consumo y producción de la opción "ex ant" en la fórmula correspondiente al FEOM. Los resultados se muestran en la tabla 24.(CDM, 2018).

Tabla 24.

Factor de emisión del margen operativo.

FACTOR DE EMISIÓN DEL MARGEN OPERATIVO.	
2010	0.73
2011	0.72
2012	0.70
2013	0.66
2014	0.61
2015	0.57
2016	0.56
2017	0.57
2018	0.56
2019	0.55
2020	0.54
2021	0.55

Nota: Factor de emisión de ACM002 (2022), valores expresados en tco2/MWh.

Para calcular el factor de emisión del margen de construcción se reemplazan los valores de energía generada por las 5 unidades de potencia de reciente construcción (AEG SET-5) (tabla 9) en la formula correspondiente al FEBM.

La tabla 25 muestra la energía total generada por estas unidades, el FEBM para el año 2021 se calculó en 0,53 tCO2/MWh.

Tabla 25.

EFBM. unidades de potencia de reciente construcción, unidades AEG SET-5 MWh

AEG SET-5 MWh.	
Recurso Energético Renovable (registrada)	53990348 MWh.
Set 20% ≤ Set total	10798070 MWh.
AEG SET 5	13646413 MWh.
SET 20% ≤ Set 5	10798070 ≤ 13646413
E.F. BM	0.526188759 tco2/MWh

Nota: Factor de emisión de ACM002 (2022), valores expresados en tco2/MWh.

Cálculo del índice de carbono FECM

La metodología TOOL07 utiliza el factor de emisión combinado para determinar el impacto de los índices de carbono en los sistemas energéticos solares. Este factor se calcula como la suma ponderada del factor de emisión del margen operativo y el factor de emisión del margen de construcción. Los pesos wOM y wBM representan la importancia relativa de cada factor de emisión en el cálculo del factor de emisión combinado. (CDM, 2018)

$$FECM_{(2010-2021)} = (FE_{OM} \times w_{OM}) + (FE_{BM} \times w_{BM})$$

En proyectos de energía solar la metodología Tool 7 atribuye una mayor relevancia al FE de margen operativo (75%) en comparación al FE de margen de construcción (25%) en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Por otro lado, para proyectos relacionados con la serie del sistema interconectado nacional SEIN, se le asigna igual peso a los factores de emisión OM y BM (ambos con un 50%) en las emisiones de GEI de dichos proyectos.

Tabla 26.

Índice de carbono FECM de la serie: Solar y SEIN, (tCO2/MWh).

FECM (tCO2/MWh.)		
Año	SOLAR	SEIN
2010	0.68	0.63
2011	0.67	0.62
2012	0.66	0.62
2013	0.63	0.59
2014	0.59	0.57
2015	0.56	0.55
2016	0.55	0.54
2017	0.56	0.55
2018	0.55	0.54
2019	0.54	0.54
2020	0.53	0.53
2021	0.54	0.54

Nota: Factor de emisión de ACM002 (2022), valores expresados en tco2/MWh.

La Tabla 26 muestra el cálculo de indicadores de carbono relacionados con el Factor de Emisiones Combinado (FECM) aplicado a proyectos de energía solar. Esta metodología se enfoca en proyectos solares y se basa en el concepto de "emisiones evitadas", que se refiere a las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂, que no se liberan al medio ambiente durante la generación de energía solar. A pesar de que los sistemas solares no emiten CO₂ durante la producción de energía, se evalúan las emisiones de dióxido de carbono asociadas con la construcción y operación de las plantas como parte del sistema energético nacional. (CDM, 2018)

Por lo tanto, la metodología TOOL07 cuantifica el impacto ambiental de los sistemas de energía solar considerando un factor que tiene en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero que se producen tanto durante la construcción y durante la operación de estos sistemas. Desde una perspectiva objetiva que toma en cuenta factores externos a la producción de energía, la metodología se centra en medir las emisiones que se evitan mediante el uso de energía solar, lo cual representa una ventaja desde un punto de vista medioambiental.

Predicción del factor de emisión combinado FECM 2030

Para prever el FECM en 2030, se emplearon dos modelos de regresión simple. El primer modelo vincula el FECM con la energía generada por las centrales eléctricas (SEIN), y el segundo modelo lo relaciona con la energía generada por las centrales eléctricas solares. Las ecuaciones de regresión son las siguientes:

$$FECM_{sein} = 0.809 + (-5.5231 \times 10^{-9} \times SEIN)$$

$$FECM_{solar} = 0.615 + (-1.0144 \times 10^{-7} \times Solar)$$

Los coeficientes de regresión de estas ecuaciones indican que el factor de emisión disminuye a medida que aumenta la energía generada por las centrales eléctricas de la serie Sein y solar.

Inferencia estadística de la regresión lineal.

Para validar la eficacia de las ecuaciones estadísticas, se realiza un análisis de las estadísticas de regresión y de varianza. En la Tabla 27, se revela que el coeficiente de correlación es 0.96 y el valor de R ajustado es 0.9. Adicionalmente, el valor de F de regresión es 132.6, con un valor crítico de 4.3E-6. Esto implica que las variables explicativas son estadísticamente significativas, con p-valores inferiores a 0.05, y sus intervalos de confianza excluyen el 0.

Tabla 27.

Estadísticos de la regresión y el análisis de varianza del factor de emisión SEIN

ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN		ANÁLISIS DE LA VARIANZA	
Coefficiente de correlación múltiple	0.964300772	Regresión F	132.6044849
Coefficiente de determinación R ²	0.929875978	Regresión Valor crítico de F	4.30059E-07
R ² ajustado	0.922863576	Probabilidad Intercepción	3.57307E-12
Error típico	0.010241695	Probabilidad Energía SEIN	4.30059E-07
Observaciones	12	Limites	No contiene a 0

Nota: Análisis estadístico de regresión simple.

En relación a la proyección acumulada para el período 2030, presentada en la tabla 28 mediante un modelo de regresión lineal simple aplicado a la serie Solar, se obtiene un coeficiente de correlación de 0.73, y un valor ajustado de R de 0.47. El valor de F de regresión calculado es 9.2, con un valor crítico de 0.016, corroborando la relevancia estadística de las variables explicativas, con p-valores menores a 0.05, y límites de confianza que no contienen el valor 0.

Tabla 28.

Estadísticos de la regresión y el análisis de varianza del factor de emisión Solar

ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN		ANÁLISIS DE LA VARIANZA	
Coefficiente de correlación múltiple	0.73154056	Regresión F	9.20991166
Coefficiente de determinación R ²	0.53515159	Regresión Valor crítico de F	0.01619119
R ² ajustado	0.47704554	Probabilidad Intercepción	4.1817E-10
Error típico	0.03005621	Probabilidad Energía Solar	0.016191191
Observaciones	10	Limites	No contiene a 0

Nota: Análisis estadístico de regresión simple.

Pronostico del Factor de Emisión Combinado

En la tabla 29, se emplea el método TOOL07 para calcular el índice de carbono en la generación de electricidad en el sistema eléctrico nacional (SEIN) y en la energía solar. En el caso de los sistemas eléctricos solares que no generan emisiones durante la producción de energía, esta metodología evalúa su capacidad para disminuir las emisiones de CO₂ dentro del FECM.

Tabla 29.

Pronostico del factor de emisión combinado FE CM. (tCO₂).

AÑO	Pronóstico de los índices de carbono FECM tCO ₂					
	SERIE SEIN			SERIE SOLAR		
	ENERGÍA	FECM	Producción tCO ₂	ENERGÍA	FECM	Reducción tCO ₂ .
2022	52104312.43	0.52	27165355	967287.4579	0.52	499912
2023	53277728.91	0.51	27431846	1026576.762	0.51	524380
2024	54477571.34	0.51	27688611	1089506.268	0.50	549569
2025	55704434.85	0.50	27934715	1156299.288	0.50	575427
2026	56958927.98	0.49	28169169	1227192.844	0.49	601881
2027	58241672.94	0.49	28390927	1302438.512	0.48	628844
2028	59553306.00	0.48	28598885	1382303.311	0.47	656206
2029	60894477.73	0.47	28791876	1467070.654	0.47	683831
2030	62265853.34	0.47	28968668	1557041.352	0.46	711558

Nota: Valores de pronóstico: $ton. CO_2 = Energia MWh \times factor E.tCO_2/MWh$.

La tabla 29, muestra la proyección del índice de carbono del sistema energético nacional, junto con la disminución de CO₂ asociada a la producción de energía solar. Estos datos se utilizan para evaluar la eficacia en la reducción de emisiones.

E3: PRECIO SOCIAL DE CARBONO PSC

Para evaluar el valor de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se multiplica la cantidad de emisiones GEI cuantificadas (que se encuentran en la Tabla 29) por el precio social del carbono de \$7.17 por tonelada de CO₂.

Tabla 30.

Pronostico del Precio social de Carbono de la serie Solar (\$ / tCO₂).

PROYECCION DEL PSC TCO ₂ /MWH		
AÑO	SERIE SOLAR	
	Reducción de CO ₂ T	PSC \$7.17/tCO ₂
2022	499912	3,584,370
2023	524380	3,759,803
2024	549569	3,940,413
2025	575427	4,125,809
2026	601881	4,315,488
2027	628844	4,508,813
2028	656206	4,704,995
2029	683831	4,903,070
2030	711558	5,101,869

Nota: Valores de pronóstico $PSC = CO_2 t \times \frac{\$}{CO_2 t}$.

La Tabla 30 presenta proyecciones del PSC, calculadas utilizando datos históricos de la contribución de CO₂ por tonelada de la serie Solar. Los resultados se multiplican por el factor del PSC de \$7.17, y este valor se utiliza como referencia para evaluar la competitividad de la Serie Solar.

CONCLUSION

La evaluación de la eficiencia energética fotovoltaica posibilita el análisis de diferentes situaciones y determina su capacidad competitiva para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La investigación se basa en tres aspectos: 1ero. La recolección y proyección de la energía solar, lo que implica obtener información sobre la cantidad de electricidad que generan las plantas conectadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y analizar cómo varía esta generación con el tiempo.

En particular, es importante contar con datos sobre la electricidad producida por fuentes solares y del SEIN. Esto nos permite comparar su competitividad a lo largo del tiempo, es decir, saber si son eficientes y rentables en el largo plazo.

2do. La determinación y cálculo del factor de emisión combinado de la energía solar y su integración con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) es un aspecto relevante considerar.

El concepto fundamental “Eficiencia de conversión”, tiene un rol importante en el cálculo del factor de emisión. La eficiencia de conversión es un número decimal que muestra cuánta luz solar se transforma en electricidad en una planta solar. Para las

plantas de energía renovable, bajo la metodología del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CMD), se usa el valor 0.75 para representar que el 75% de la luz solar se convierte en electricidad y el 25% se pierde en la construcción y fabricación de la planta solar.

3ro. La obtención y proyección del precio social de la energía solar. El objetivo principal es evaluar cuán competitiva es la energía solar en términos de reducir las emisiones de CO₂. Para hacer esto, no solo consideramos cuánto CO₂ se deja de emitir, sino que también le asignamos un valor monetario.

Por ejemplo, para el año 2030 se estima que la producción de energía solar fotovoltaica alcanzará los 1 557 041 MWh. Este número será multiplicado por un factor que tiene en cuenta la eficiencia en la utilización de la tecnología solar, considerando los aspectos previamente mencionados. De acuerdo a los cálculos, el factor de emisión resulta ser de 0.46 tCO₂/MWh, lo que da como resultado una cifra de 711 558 toneladas de CO₂ que se evitarán. Este valor 711 558 toneladas de CO₂ equivalen a 5 101 869 dólares, basándose en una tasa de 7.71 dólares por tonelada de CO₂, como referencia.

Finalmente, según lo establecido en la 21^a cumbre anual de la Conferencia de las Partes sobre el cambio climático (COP 21, 2015) (CMNUCC, 2022), para el año 2030 en el Perú, las fuentes renovables de energía contribuirían a reducir en un 19% las emisiones totales por generación eléctrica.

Si la energía solar aumenta su producción eléctrica en un 6,5%, se espera que las emisiones de energía no renovable disminuyan en un 2,4% del total de emisiones del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). (COES, 2021a).

DISCUSION

En cuanto a la significación de las proyecciones energéticas, se resalta la relevancia de identificar y tratar valores atípicos como una técnica para mejorar la precisión en las predicciones dentro del análisis de series temporales. Diversos expertos en estadística y análisis de series temporales han señalado esta estrategia con el propósito de fortalecer la capacidad predictiva.

En el libro "Forecasting: Principles and Practice" de Rob J. Hyndman y George Athanasopoulos (2013), se destaca la importancia de abordar los valores atípicos antes de ajustar modelos de pronóstico. Argumentan que los valores atípicos pueden tener un impacto significativo en los resultados del modelo y que su falta de tratamiento adecuado puede conducir a pronósticos imprecisos o inservibles.

Se proponen varias técnicas para tratar valores atípicos, como detección visual, identificación basada en estadísticas resumidas, eliminación o transformación de valores atípicos, y la inclusión de variables ficticias para capturar efectos estacionales o eventos especiales. Además, en su libro, presentan diversos modelos de pronóstico, que incluyen modelos ARIMA, modelos de suavización exponencial y modelos de regresión. Para cada modelo, detallan cómo manejar valores atípicos y ajustar parámetros de manera precisa (Hyndman & Athanasopoulos, 2013).

Box y Jenkins, en su obra "Time Series Analysis: Forecasting and Control", mencionan también la relevancia de detectar y corregir valores atípicos antes de ajustar modelos ARIMA (Box, 2013). En este contexto, se sustenta el análisis de la serie de datos del SEIN durante el periodo 2001-2021. Siguiendo la metodología, se identificó el modelo **SARIMA (1,1,0) x (0,1,12)**¹² para la nueva serie del SEIN hasta 2030, incorporando variables ponderadas. Se excluyeron datos atípicos del periodo 2020

debido a la disminución del consumo energético por la cuarentena de COVID-19. Una vez que se identificó la serie con los nuevos datos, se aplicó la metodología de Box y Jenkins para analizar la serie completa (Chávez Quisbert, 1997). El modelo mostró coeficientes altamente significativos y criterios de información cercanos a 0. El análisis de los residuos reveló ausencia de autocorrelación, sin problemas de heterocedasticidad y una distribución normal. Es relevante mencionar que, para cumplir con este supuesto, fue necesario incorporar variables ficticias en el modelo.

De manera similar y resumida, se identificó, estimó y validó un modelo econométrico para la serie Solar, usando el modelo **SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)¹²** con variables ficticias. El modelo resultó ser estadísticamente significativo con criterios de información cercanos a 0, y los residuos no mostraron autocorrelación, heterocedasticidad ni problemas de normalidad. Se incorporaron 108 proyecciones en cada serie, tanto para SEIN como para Solar, para llevar a cabo la predicción de escenarios, y en ambos casos, los pronósticos resultaron altamente relevantes. El valor del estadístico de Theil para ambas series se aproximó a cero, lo cual señala una capacidad sólida de anticipación en las predicciones. (Box, 2013)

Con la investigación realizada, fue posible proyectar el Factor de Emisión mediante la utilización de la técnica de regresión simple, lo que será útil para analizar los escenarios energéticos en el 2030, también se examina la contribución de los recursos solares en la reducción de CO₂ en los sistemas energéticos interconectados.

Del mismo modo, se evaluó la metodología empleada por la Secretaría de la CMNUCC y el Panel de Metodología del MDL para determinar el Factor de Emisión. Esta metodología se utilizó con el propósito de establecer un estándar uniforme para el sistema eléctrico nacional (CDM, 2018).

Tabla 31.

Factor de emisión de margen combinado promedio (t CO₂/MWh) para la red nacional de países de América latina

País	F.E CM	País	F.E.CM
Cuba	0.874	Argentina	0.505
Chile	0.599	Uruguay	0.482
Bolivia	0.589	Colombia	0.333
Ecuador	0.567	Brasil	0.292

Nota: Adaptada del IGES 2015.

Es viable contrastar los factores de emisión combinados para la red nacional de Perú con los factores de emisión de red de otros países, los cuales han sido divulgados por el Instituto de Estrategias Ambientales Globales (IGES, 2023). En la tabla 31, se presentan los valores empleados para efectuar esta comparación. La información se recopiló de fuentes de acceso público en el sitio web de la CMNUCC, y se utilizaron los valores promedio de los factores de emisión de la red para llevar a cabo el análisis comparativo. Los factores de emisión combinados han sido documentados hasta octubre de 2022 (CMNUCC, 2022).

Según los resultados de la investigación, Perú ha mantenido un factor de emisión promedio de 0.54 hasta el año 2021. Conforme a la información proporcionada por (IGES, 2023), los países con los valores más bajos de factor de emisión tienden a depender en gran medida de fuentes de energía renovable, como es el caso de la energía hidroeléctrica y el gas natural, que se considera como la opción más limpia para la generación de electricidad. Dentro del contexto peruano, la generación de energía eléctrica se basa principalmente en la explotación de centrales hidroeléctricas y en la

contribución proporcionada por el gas natural (COES, 2021a). De esta situación se derivan tres observaciones significativas: en primera instancia, de acuerdo con los datos presentados en la tabla 1, las fuentes de energía de bajo costo, incluyendo las centrales hidroeléctricas y otras fuentes renovables, abarcan más del 50% de la producción total de electricidad. En segundo lugar, a pesar de que Perú exhibe una proporción elevada de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables, su factor de emisión no es tan reducido, indicando la existencia de una considerable dependencia en fuentes no renovables. En tercer lugar, hacia finales de la década de 2030, se espera que el factor de emisión combinado de Perú disminuya gracias a su compromiso en impulsar proyectos de financiamiento climático, como se evidencia en la tabla 29.

De este modo, de acuerdo al procedimiento 07 del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), se calcula la cantidad numérica de emisiones de gases de efecto invernadero originadas por las centrales eléctricas. Esta estimación se logra al multiplicar la producción neta de electricidad por el factor de emisión específico del sistema eléctrico interconectado nacional, según establecido en la referencia del MDL (CDM, 2018).

En relación a la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero, una vez que se ha establecido tanto la cantidad histórica de CO₂ como su proyección futura de acuerdo a los datos presentados en la tabla 29 (CDM, 2018), es viable realizar la evaluación de su impacto social empleando el enfoque basado en los parámetros de evaluación social según lo propuesto por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF, 2021).

Las energías renovables, como la solar, son una fuente limpia que no emite gases de efecto invernadero (GEI) y en el contexto de la destrucción climática, es importante evaluar escenarios energéticos que incluyan una mayor participación de energías renovables. Esto se debe a que las emisiones de GEI son el principal factor que contribuye al cambio climático. Evaluar escenarios energéticos ayudara a los gobiernos y empresas a tomar decisiones informadas sobre la forma de satisfacer la demanda de energía de manera sostenible. También ayudara a identificar oportunidades para reducir las emisiones de GEI. (CMNUCC, 2022).

Según los resultados de este estudio (Tabla 30), la adopción de sistemas solares emerge como una respuesta crítica para enfrentar la crisis ambiental. Estos sistemas han demostrado la capacidad de generar beneficios económicos y sociales que superarían los 5 millones de dólares para el año 2030 mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, una necesidad imperante en medio de esta crisis.

No obstante, es evidente la escasa adopción de tecnologías solares en el Perú. Se destaca que la generación distribuida aún no se tiene en cuenta, lo que no proporciona un incentivo económico adicional. Además, los costos iniciales elevados, la falta de acceso al financiamiento y la percepción de riesgo financiero han limitado el impacto de la tecnología solar, como señalaron Ciriminna et al. (2016). A pesar de estos desafíos, las tecnologías solares han demostrado ser competitivas en el contexto de la crisis ambiental. La implementación de incentivos estatales y una mayor difusión de información podrían facilitar su adopción.

BIBLIOGRAFÍA

- ACM002. (2022). *ACM0002: Grid-connected electricity generation from renewable sources*.
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/HF3LP6O41YY0JIP1DK6ZRJO9RSCX3S>
- Anoliefo, E., & Oparaku, O. (2017). AN INVESTIGATION INTO THE APPLICABILITY OF NATURAL LOAD VARIATION SCHEME TO THE MEASUREMENT OF ENERGY YIELD OF PHOTOVOLTIC MODULE. *Nigerian Journal of Technology*, 36(3), 858–866.
<https://doi.org/10.4314/NJT.V36I3.28>
- Box, G. (2013). Box and Jenkins: Time Series Analysis, Forecasting and Control. *A Very British Affair*, 161–215. https://doi.org/10.1057/9781137291264_6
- Bošnjakovi, M., Santa, R., Crnac, Z., & Bošnjaković, T. (2023). Environmental Impact of PV Power Systems. *Sustainability*, 26.
- CDM. (2018). *Methodological tool Tool to calculate the emission factor for an electricity system Tool 07*.
- Chávez Quisbert, N. (1997). MODELOS ARIMA. *Revista Ciencia y Cultura*, 1, 23–30.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33231997000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Pecoraino, M., & Pagliaro, M. (2016). Rethinking solar energy education on the dawn of the solar economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 13–18. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.05.008>
- CMNUCC. (2022). *United Nation Climate Change*. La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- COES. (2021a). *Memoria COES/SINAC*.
<https://www.coes.org.pe/Portal/Publicaciones/Memorias/>
- COES. (2021b). *GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES*. SUB DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN.
<https://www.coes.org.pe/Portal/publicaciones/estadisticas/estadistica2021#>
- COP 21. (2015, January 29). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. *Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático*, Art. 1/CP.1.
- Cosme, J., Meza, M., Gonzales, J., Cabezas, J., & Peñares, F. (2018). Sistemas Fotovoltaicos: Un Análisis de Revisión. *Ingenium*, 03(01), 1–9.
<https://doi.org/10.18259/ing.2018007>
- Metodología de Análisis Socioeconómico, Dirección General de Alianzas Público Privadas 1 (2020). <https://dgapp.gob.do/wp-content/uploads/2020/11/Metodologia-de-Analisis-Socioeconomico-26-11-2020.pdf>
- Dupont, F. H., Grassi, F., & Romitti, L. (2015). Energias Renováveis : buscando por uma matriz energética sustentável Renewable Energies : seeking for a sustainable energy matrix. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(1), 70–81.
- Energy Environmental Economics (E3). (2022). *About E3 - E3*.
<https://www.ethree.com/about/overview/>

- Fontaine, E. R. (2008). *Evaluación social de proyectos* (M. Fernanda Castillo, Ed.; Decimotercera, Vol. 1). Pearson Educación de México S.A. de C.V. www.pearsoneducacion.net
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2013). *Forecasting: Principles and Practice* (OTexts, Ed.; Ilustrada). OTexts, . <https://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf>
- IGES. (2023, March). *List of Grid Emission Factors*. Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.iges.or.jp/en/pub/list-grid-emission-factor/en>
- Kumar Behura, A., Kumar, A., Kumar Rajak, D., Pruncu, C. I., & Lamberti, L. (2021). Towards better performances for a novel rooftop solar PV system. *Solar Energy*, 216, 518–529. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2021.01.045>
- MEF. (2021). *Nota Técnica para el uso del Precio Social del Carbono en la Evaluación Social de Proyectos De Inversión*. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo3_RD006_2021EF6301.pdf
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2021). *Principales Indicadores del Sector Eléctrico a Nivel Nacional*. Balance Nacional de Energía. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Electrico%20-%20Diciembre%202019%20-%20Rev%206-1.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Guía N° 1: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del Sector Energía*. <http://infocarbono.minam.gob.pe>
- Mitma Ramírez, R. E. (2015). *Análisis de la Regulación de Energías Renovables en el Perú*. 45, 167–176. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechosociedad/article/view/15235>
- Morales-Oñate, V. (2022, June 2). *Series de Tiempo*. https://bookdown.org/victor_morales/SeriesdeTiempo/
- Novales, A. (2010). *Análisis de Regresión*. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- Ormachea, O., Abrahamse, A., & Molina, D. (2012). Optimización de la eficiencia de paneles fotovoltaicos a través del control de la temperatura Resultados preliminares. *Simposio Nacional de Energia Renovable.*, 171–175.
- Pilar, M., Casimiro, G., & Casimiro, P. G. (2009). Análisis de series temporales: modelos ARIMA. *Universidad Del País Vasco*, 169. <http://addi.ehu.es/handle/10810/12492>
- Pulgar Vidal, M. (2016). *EL ACUERDO DE PARÍS: EL LARGO PROCESO HACIA EL ÉXITO*. www.arjowigginsgraphic.com
- Ravi Kumar, K., & Reddy, K. S. (2012). 4-E (energy-exergy-environmental-economic) analyses of line-focusing stand-alone concentrating solar power plants. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 7(2), 82–96. <https://doi.org/10.1093/IJLCT/CTS005>
- Touati, F., Al-Hitmi, M. A., Chowdhury, N. A., Hamad, J. A., & San Pedro Gonzales, A. J. R. (2016). Investigation of solar PV performance under Doha weather using a customized measurement and monitoring system. *Renewable Energy*, 89, 564–577. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.046>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *E3: Economy - Energy - Environment | US EPA*. <https://www.epa.gov/e3>
- Velis, O. (2022). ¿Por qué se debe promover la eficiencia energética a través del uso de la energía renovable en el Perú?, por Omar Velis | ECONOMIA | EL COMERCIO PERÚ. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/economia/opinion/por-que-se-debe-promover-la-eficiencia-energetica-a-traves-del-uso-de-la-energia-renovable-en-el-peru-por-omar-velis-noticia/?ref=ecr>.

Anexos:

1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio.

EVIDENCIA DE SUMISIÓN

Daniel Joab, Corimayhua Coarite & Bryan Kevin, Oscanoa Roque.

a) Revista científica, "Energies MDPI Journal".

The screenshot shows the MDPI Energies journal website. The top navigation bar includes links for Journals, Topics, Information, Author Services, Initiatives, and About, along with a Sign In / Sign Up button and a Submit button. A search bar is present with fields for Title / Keyword, Author / Affiliation / Email, and a dropdown menu for Energies. The main content area features a large banner for a recent article titled "Low-Cost MPPT Strategy and Protection Circuit Applied to an Ayanz Wind Turbine with Screw Blades". To the left, there is a "Journal Menu" with various links and a "Journal Browser" section. On the right, there are sections for "E-Mail Alert" and "News".

b) Proceso de sumisión

The screenshot shows the MDPI Author Services dashboard. The top navigation bar includes links for Journals, Topics, Information, Author Services, Initiatives, and About, along with a user profile section for alebut2@hotmail.com. The main content area is titled "Manuscript Status" and displays a table of manuscript submissions. The table has columns for Manuscript ID, Journal, Section / Special Issue, Title, Status, and Submission Date. Two manuscripts are listed: one in Applied Sciences and one in Energies.

Manuscript ID	Journal	Section / Special Issue	Title	Status	Submission Date
applsci-2692999	Applied Sciences	S: Agricultural Science and Technology	Evaluation of physicochemical parameters in Sandy soils after applying biochar as an organic amendment	Under review	2023-10-16 14:37:29
energies-2732279	Energies		Solar energy efficiency as a competitive alternative in the reduction of the GHG emissions in Peru	Pending review	2023-11-07 00:46:33

c) Respuesta de la Sumisión recibida en proceso.

[Energies] Manuscript ID: energies-2732279 - Submission Received

Traducir mensaje a: Español | Nunca traduzca de: Inglés

EO susy@mdpi.com en nombre de Editorial Office <energies@mdpi.com> Lun 06/11/2023 18:46

Para: Alex Huaman De La Cruz <alebut2@hotmail.com>
CC: daco: Bryan Oscanoa Roque <bryankevin92@gmail.com>; Jusber Huamán De La Cruz <kev369jus@gmail.com>; **y 5 más**

Dear Dr. De La Cruz,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: Energies
Manuscript ID: energies-2732279
Type of manuscript: Article
Title: Solar energy efficiency as a competitive alternative in the reduction of the GHG emissions in Peru
Authors: Daniel Corimayhua Coarite, Bryan Oscanoa Roque, Alex Huamán De La Cruz *, Jusber Huamán De La Cruz, Jorge Gelmore Unchupaico, Andres Camargo Caysahuana, Julio Mariños Alfaro, Alberto Patiño Rivera, Roger Aguilar Rojas
Received: 7 Nov 2023
E-mails: daco@upeu.edu.pe, bryankevin92@gmail.com, alebut2@hotmail.com, kev369jus@gmail.com, foxsale09@hotmail.com, andres_fiq@hotmail.com, cemaralfa55@gmail.com, alripari2023@gmail.com, raguilar@uniscjsa.edu.pe

You can follow progress of your manuscript at the following link (login required):
https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/d99a5201cf5da5c65d9eb9917bc5c00d

The following points were confirmed during submission:

1. Energies is an open access journal with publishing fees of 2600 CHF for an accepted paper (see <https://www.mdpi.com/about/apc/> for details). This manuscript, if accepted, will be published under an open access Creative Commons CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), and I agree to pay the Article Processing Charges as described on the journal webpage (<https://www.mdpi.com/journal/energies/apc>). See

d) Respuesta de la Sumisión recibida

EO pisit@mdpi.com en nombre de Energies Editorial Office <energies@mdpi.com> Mar 07/11/2023 7:07

Para: Alex Huaman De La Cruz <alebut2@hotmail.com>
CC: daco: Bryan Oscanoa Roque <bryankevin92@gmail.com>; Jusber Huamán De La Cruz <kev369jus@gmail.com>; **y 6 más**

Dear Dr. De La Cruz,

Thank you very much for submitting your manuscript to Energies:

Journal name: Energies
Manuscript ID: energies-2732279
Type of manuscript: Article
Title: Solar energy efficiency as a competitive alternative in the reduction of the GHG emissions in Peru
Authors: Daniel Corimayhua Coarite, Bryan Oscanoa Roque, Alex Huamán De La Cruz *, Jusber Huamán De La Cruz, Jorge Gelmore Unchupaico, Andres Camargo Caysahuana, Julio Mariños Alfaro, Alberto Patiño Rivera, Roger Aguilar Rojas
Received: 7 Nov 2023
E-mails: daco@upeu.edu.pe, bryankevin92@gmail.com, alebut2@hotmail.com, kev369jus@gmail.com, foxsale09@hotmail.com, andres_fiq@hotmail.com, cemaralfa55@gmail.com, alripari2023@gmail.com, raguilar@uniscjsa.edu.pe
Submitted to section: B: Energy and Environment,
https://www.mdpi.com/journal/energies/sections/energy_environment

We confirm that, if accepted for publication, the following Article Processing Charges (APC), 2600 CHF, will apply to your article:

Journal APC: 2600 CHF
Total APC: 2600 CHF

Please confirm that the APC is correct at the below link:
https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/apc_info/d99a5201cf5da5c65d9eb9917bc5c00d

2. Copia de la resolución de la inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.



“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”

RESOLUCIÓN N° 0875/A-2021/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 09 de noviembre de 2021

VISTO:

El expediente de Daniel Joab Corimayhua Coarite, identificado(a) con Código Universitario N° 201011185 y Bryan Kevin Oscanoa Roque, identificado(a) con Código Universitario N° 200910141, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que Daniel Joab Corimayhua Coarite y Bryan Kevin Oscanoa Roque, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Eficiencia energética, valoración ambiental y económica de la irradiancia de módulos fotovoltaicos mono y policristalino, en Lurigancho-Chosica" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 09 de noviembre de 2021, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "Eficiencia energética, valoración ambiental y económica de la irradiancia de módulos fotovoltaicos mono y policristalino, en Lurigancho-Chosica" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al Mg. Javier Linkolk López Gonzales como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez y Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dr. María Vallejos Atalaya de Cornejo
DECANA



Dr. Erika Inés Acuña Salinas
SECRETARIA ACADÉMICA

3. Instrumento de Recolección de Datos.

Análisis de datos del COES (2009-2019)

a. Identificación de los datos

Los datos recopilados del COES incluyen la producción de energía, la demanda, los tipos de energía. entre otros.

b. Periodo de tiempo

Los datos se recopilaron durante un periodo de 12 años, desde 2010 hasta 2022.

c. Frecuencia de los datos

Los datos se recopilaron mensualmente, proporcionando un total de 120 puntos de datos para cada métrica.

d. Formato de los datos

Los datos se recopilaron en formato xls, que es un formato comúnmente utilizado para la manipulación de datos.

e. Proceso de recolección de datos

Los datos se descargaron directamente de la base de datos del COES utilizando un software de recolección de datos. Este software fue programado para acceder a la base de datos del COES, seleccionar las métricas relevantes y descargar los datos en formato xls.

f. Análisis de los datos

Los datos se analizaron utilizando varias técnicas estadísticas. Primero, se validaron los datos para garantizar su precisión. Luego, se manejaron los valores atípicos para evitar que distorsionaran los resultados del análisis. Finalmente, se interpretaron las tendencias en los datos para identificar patrones y cambios a lo largo del tiempo.

g. Resultados del análisis

El análisis reveló varias tendencias interesantes en los datos. Por ejemplo, se observó un aumento constante en la demanda de energía a lo largo del tiempo. Además, de la variabilidad significativa de los tipos de energías, lo que sugiere que el sistema energético de Perú ha experimentado cambios importantes durante el periodo de estudio.