

Enfoques y métodos para resolver problemas sociales y productivos de manera sostenible

Coordinadores

Jorge Adolfo Pinto Santos
Jeovany Rafael Rodríguez Mejía
Hansuk Sohn

En honor a el Dr. Jorge de la Riva Rodríguez,
decano del TecNM-IT Cd Juárez, México.

Secundino Ramos Lozano
Manuel Arnoldo Rodríguez Medina
Ma. De los Ángeles de la Torre Mora
Manuel Iván Rodríguez Borbón
Hansuk Sohn
Eduardo Rafael Poblano Ojinaga
Rafael García Martínez
Salvador A. Noriega Morales
Tomas Francisco Limones Meraz
Adán Valles Chávez
Mariela Álvarez Argüelles
Soledad Vianey Torres Argüelles
Alejandra Flores Sánchez
Ángel Noé Alvarado Pizarro
Luis Raúl Aguilar Lujan
Ericka Berenice Herrera Ríos
Jaime Sánchez Leal
Diego Adiel Sandoval Chávez
Luz Elena Terrazas Mata
Manuel Alonso Rodríguez Morachis
Francisco Zorrilla Briones
Jeovany Rafael Rodríguez Mejía
Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro
Jorge Adolfo Pinto Santos



Enfoques y métodos para resolver problemas sociales y productivos de manera sostenible

ISBN México (CENID): 978-607-8830-20-6

ISBN España (AEVA): 978-84-09-52247-7

Primera edición, 2023 Todos los derechos reservados.

© 2023, coordinadores. Jorge Adolfo Pinto Santos, Jeovany Rafael Rodríguez Mejía y Hansuk Sohn.

© 2023, autores. Secundino Ramos Lozano, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Ma. De los Ángeles de la Torre Mora Manuel Iván Rodríguez Borbón, Hansuk Sohn, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, Rafael García Martínez, Salvador A. Noriega Morales, Tomas Francisco Limones Meraz, Adán Valles Chávez, Mariela Álvarez Argüelles, Soledad Vianey Torres Argüelles, Alejandra Flores Sánchez, Ángel Noé Alvarado Pizarro, Luis Raúl Aguilar Lujan, Ericka Berenice Herrera Ríos, Jaime Sánchez Leal, Diego Adiel Sandoval Chávez, Luz Elena Terrazas Mata, Manuel Alonso Rodríguez Morachis, Francisco Zorrilla Briones, Jeovany Rafael Rodríguez Mejía, Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro y Jorge Adolfo Pinto Santos.

Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores. Esta obra cumple con el requisito de evaluación por dos pares de expertos.

Edición y diagramación: Salvador Tinoco.

Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC es miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Socio #3758.

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra mediante algún método sea electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación o almacenamiento de información), sin el consentimiento por escrito del editor.

Indexación de datos

Bases de datos en las que Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente CENID A.C. está indexada: Dialnet (Universidad de la Rioja).

© 2023 Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC Pompeya # 2705. Colonia Providencia C.P. 44670 Guadalajara, Jalisco. México Teléfono: 01 (33) 1061 8187 Registro Definitivo Reniecyt No.1700205 a cargo de Conacyt.

© 2023 Editorial de la Asociación Científica para la Evaluación y Medición del los Valores Humanos c/ de les cases sert nº 11, C.P. 08193, Bellaterra – Cerdanyola del Vallés (Barcelona).

CENID y su símbolo identificador son una marca comercial registrada.

Impreso en México / Printed in México

Si desea publicar un libro o un artículo de investigación contáctenos.

www.cenid.org

redesdeproduccioncenid@cenid.org



ÍNDICE

Introducción	5 – 6
Semblanza del Dr. Jorge de la Riva Rodríguez	7 – 8
Mantenimiento Basado en Análisis de Redes Bayesianas <i>Secundino Ramos Lozano, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Ma. De los Ángeles de la Torre Mora</i>	9 – 28
Desarrollo de un marco de evaluación de sostenibilidad basado en la confiabilidad para sistemas de energía renovable <i>Manuel Iván Rodríguez Borbón, Hansuk Sohn, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga</i>	29 - 46
Validación de Contenido del Instrumento de Medición Empleado para la Construcción del Modelo para Cuantificar la Capacidad de Innovación Empresarial. <i>Rafael García Martínez, Salvador A. Noriega Morales, Tomas Francisco Limones Meraz</i>	47 – 68
Factores Críticos de Éxito en el Despliegue de Proyectos Seis Sigma: Una Revisión Sistemática y Metaanálisis <i>Adán Valles Chávez, Mariela Álvarez Argüelles, Soledad Vianey Torres Argüelles</i>	69 - 91
Enfermedades Crónico-Degenerativas en Personal de Comedores Industriales en Ciudad Juárez <i>Alejandra Flores Sánchez, Ángel Noé Alvarado Pizarro, Luis Raúl Aguilar Lujan</i>	92 - 107

Diseño Robusto de Procesos con Mezclas	108- 128
<i>Ericka Berenice Herrera Ríos, Jaime Sánchez Leal, Diego Adiel Sandoval Chávez</i>	
Establecimiento de factores de riesgo para mujeres con cáncer cérvico uterino mediante Mahalanobis-Taguchi	129 - 148
<i>Luz Elena Terrazas Mata, Manuel Alonso Rodríguez Morachis, Francisco Zorrilla Briones</i>	
Laboratorios remotos como ambientes para la enseñanza y experimentación de sistemas digitales y control en ingeniería	149 - 171
<i>Jeovany Rafael Rodríguez Mejía, Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro, Jorge Adolfo Pinto Santos</i>	
Curriculums autores	172 - 178



Desarrollo de un marco de evaluación de sostenibilidad basado en la confiabilidad para sistemas de energía renovable

Development of a reliability-based sustainability assessment framework for renewable energy systems

Manuel Iván Rodríguez Borbón

New Mexico State University, USA

ivanrodr@nmsu.edu

<https://orcid.org/0000-0001-8405-4599>

Hansuk Sohn

New Mexico State University, USA

hsohn@nmsu.edu

<https://orcid.org/0000-0002-8126-730X>

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez, México

eduardo.po@ciudadjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3482-7252>

Resumen:

Los sistemas de energía renovable, como las turbinas eólicas y los paneles solares, desempeñan un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y en el logro de los objetivos globales de desarrollo sostenible. Estos sistemas ofrecen una alternativa más limpia y ecológica a las fuentes de energía basadas en combustibles fósiles y tienen el potencial de transformar la matriz energética de manera sostenible. Sin embargo, la confiabilidad de estos sistemas también es un factor crítico, ya que las paradas no planificadas pueden provocar cortes de energía, mayores costos de mantenimiento y cortes de suministro. Además de los aspectos técnicos, los factores económicos, sociales y ambientales también son decisivos en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable. A pesar de su importancia, las evaluaciones de sostenibilidad actuales de estos sistemas no consideran suficientemente los factores de confiabilidad, lo que puede conducir a evaluaciones inexactas de su desempeño en términos de sostenibilidad y, en última instancia, afectar las decisiones de planificación e implementación de proyectos de energía renovable. El objetivo de este estudio es investigar cómo se puede incorporar el análisis de confiabilidad en el marco de evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable. Esto incluirá una revisión de los métodos existentes de análisis de confiabilidad y evaluación de la sostenibilidad, y el desarrollo de métodos y herramientas para evaluar de manera más precisa y completa la sostenibilidad y la confiabilidad de los sistemas de energía renovable.

Palabras clave: Energía Renovable, Sostenibilidad, Análisis de Confiabilidad, Evaluación de Sostenibilidad.

Abstract:

Renewable energy systems, such as wind turbines and solar panels, play an important part in reducing greenhouse gas emissions and achieving sustainability goals globally. These systems offer a cleaner and greener alternative to fossil fuel-based energy sources and have the potential to transform the energy matrix sustainably. However, the reliability of these systems is also a critical factor, as unexpected downtime can result in loss of power generation, increased maintenance costs, and power outage. In addition to technical aspects, economic, social and environmental factors are also fundamental in assessing the sustainability of renewable energy systems. Despite their importance, current sustainability assessments for these systems do not adequately consider reliability factors, which can lead to inaccurate assessments of their sustainability performance and ultimately affect decision-making in the planning and implementation of renewable energy projects. This research proposes to explore how reliability analysis can be incorporated into a sustainability assessment framework for renewable energy systems. This will include reviewing existing approaches to sustainability assessment and reliability analysis, as well as developing methodologies and tools that enable a more accurate and comprehensive assessment of the sustainability and reliability of renewable energy systems.

Keywords: Renewable Energy, Sustainability, Reliability Analysis, Sustainability Assessment.

Introducción

La energía verde, también conocida como energía renovable o energía limpia, es una forma de producción de energía que utiliza recursos naturales inagotables y no emite gases de efecto invernadero ni otros contaminantes dañinos para el medio ambiente (IRENA, 2021). Esta forma de energía es esencial para combatir el cambio climático y la contaminación del aire y el agua.

Las fuentes de energía verde más comunes incluyen la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa (IRENA, 2021). La energía solar se produce mediante el uso de paneles solares que convierten la energía del sol en electricidad. La energía eólica se produce mediante el uso de turbinas eólicas que transforman la energía del viento en electricidad. La energía hidráulica se produce mediante la utilización de presas y turbinas que convierten la energía del agua en electricidad. La energía geotérmica se produce mediante el uso de calor generado por el interior de la tierra para generar electricidad. La biomasa se produce mediante la quema de materia orgánica como madera, cultivos y residuos.

La energía renovable proviene de recursos naturales que se reponen constantemente y no se extinguirán con el tiempo. Los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural tienen suministros limitados y tienen un gran impacto en el cambio climático y la contaminación del aire. Por otro lado, la energía renovable ofrece una alternativa más limpia y sostenible. Estas fuentes de energía son esenciales para combatir el cambio climático, reducir la dependencia de los combustibles fósiles, mejorar la seguridad energética y promover el desarrollo económico y social.

Ampliando, algunos ejemplos de fuentes de energía renovable incluyen:

- Energía solar: Se genera convirtiendo la luz solar en electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos o en calor mediante colectores solares. Esta forma de energía es abundante, no contaminante y se considera una de las formas más rápidas de generar electricidad tanto a pequeña como a gran escala.
- Energía eólica: Se obtiene al transformar la energía cinética del viento en electricidad mediante turbinas eólicas que pueden ser instaladas en tierra o en el mar, ofreciendo una fuente limpia y eficiente de energía.
- Energía hidroeléctrica: Es causada por un movimiento de agua, generalmente gestionado por una presa e instalaciones de río y agua. Es una de las fuentes de energía renovable más antiguas y es una parte importante de la generación de electricidad en muchos países.
- Biomasa: Es material orgánico de origen vegetal y animal que se utiliza como fuente de energía y puede quemarse directamente para producir calor, o convertirse mediante fermentación anaeróbica en biogás, una mezcla de gases que se utiliza para producir electricidad y calor.
- La energía geotérmica se obtiene mediante el uso del calor de las profundidades de la tierra para generar electricidad o proporcionar calefacción y refrigeración. Las plantas de energía geotérmica utilizan pozos profundos para extraer agua caliente o vapor del suelo y emplean turbinas para convertir el calor en electricidad.
- La energía oceánica, que incluye tecnologías que utilizan el movimiento de las olas, las mareas y las corrientes oceánicas para generar electricidad, aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo, pero se espera que se convierta en una importante fuente de energía renovable en el futuro.

Estas fuentes de energía renovable, utilizadas en combinación y adaptadas a las condiciones geográficas y climáticas específicas de cada región, pueden contribuir a una matriz energética más sostenible y diversa que reduzca el uso de combustibles fósiles, minimice las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuya al desarrollo global sostenible. Además, las inversiones en tecnologías de energías renovables y la investigación en estas áreas pueden impulsar la creación de empleo e impulsar la innovación en el sector energético, generando beneficios económicos y sociales a largo plazo. En resumen, las fuentes de energía renovable son esenciales para enfrentar los desafíos del cambio climático y construir un futuro más sostenible y resiliente.

Por lo tanto, la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a un uso cada vez mayor de sistemas de energía renovable en todo el mundo (IPCC, 2018). Estos sistemas, como las turbinas eólicas y los paneles solares, juegan un papel importante en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles (IRENA, 2020). A pesar de sus beneficios ambientales, la confiabilidad de los sistemas de energía renovable también es un aspecto clave a considerar, ya que los cortes de energía no

planificados pueden generar pérdidas económicas y mayores costos de mantenimiento (Aqlan et al., 2019). En este contexto, el análisis de confiabilidad y la evaluación de la sustentabilidad son aspectos esenciales para asegurar el éxito a largo plazo de los sistemas de energía renovable.

Según la Agencia Internacional de Energía Renovable, se espera que la energía renovable alcance el 30% de la producción mundial de energía para el año 2023 (IRENA, 2021). Además, el uso de energía verde también tiene beneficios económicos, ya que puede crear empleos y reducir los costos de energía a largo plazo (UNEP, 2021).

El análisis de confiabilidad es una técnica utilizada para evaluar la capacidad de un sistema de energía renovable para suministrar energía constante y confiable. La variabilidad inherente de las fuentes de energía renovable, como la energía solar y la energía eólica, puede dificultar la evaluación de su confiabilidad y su capacidad para proporcionar energía constante (Wang y Guo, 2019).

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables, se prevé que la participación de las energías renovables en la producción mundial de energía alcance el 30% para 2023 (IRENA, 2021). Además, el uso de energía verde tiene beneficios económicos, ya que puede generar empleo y reducir los costos de energía a largo plazo (UNEP, 2021). El análisis de confiabilidad es una técnica utilizada para evaluar la capacidad de un sistema de energía renovable para proporcionar electricidad estable y confiable. La volatilidad asociada con las fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, puede dificultar la evaluación de su confiabilidad y suministro de energía estable (Wang y Guo, 2019). Aunque las fuentes renovables generalmente se consideran menos confiables que las fuentes no renovables, el análisis de confiabilidad puede ayudar a mitigar este problema. El análisis de confiabilidad puede ayudar a evaluar la interconexión de varias fuentes de energía renovable y su capacidad para proporcionar electricidad estable y confiable (Wang y Guo, 2019). Además, el análisis de confiabilidad puede ayudar a identificar las posibles causas de fallas en los sistemas de energía renovable y desarrollar planes de contingencia para abordarlas (Dahal et al., 2020).

Existen diferentes enfoques y métodos para analizar la confiabilidad de las fuentes de energía renovable, que van desde el análisis probabilístico hasta el análisis y modelado de fallas (Wang y Guo, 2019). Estos métodos pueden ayudar a evaluar la capacidad de un sistema de energía renovable para proporcionar un suministro de energía continuo y confiable en diversas condiciones, lo cual es especialmente importante en grandes sistemas de energía (Dahal et al., 2020).

Una revisión de la literatura sobre la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable y el análisis de la confiabilidad revela que varios estudios recientes se han centrado en incorporar la confiabilidad en las evaluaciones de la sostenibilidad. La sostenibilidad se ha convertido en un tema central en la planificación y gestión de los sistemas energéticos, y muchos estudios han desarrollado sistemas de puntuación para medir la sostenibilidad de estos sistemas (Singh et al., 2017). Sin embargo, la mayoría de las evaluaciones de sostenibilidad actuales no se centran en la confiabilidad de los sistemas de energía renovable (Aqlan et al., 2019). La

confiabilidad es un aspecto crítico que afecta la disponibilidad y el desempeño de estos sistemas, e incluirla en una evaluación de sostenibilidad brinda una imagen más completa de su desempeño (Omer, 2008).

El análisis de confiabilidad es una herramienta de evaluación de sistemas de ingeniería ampliamente utilizada para predecir y mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema

(Ebeling, 2010). En el contexto de los sistemas de energía renovable, el análisis de confiabilidad se puede utilizar para evaluar la probabilidad de falla y calcular el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), lo que permite una mejor gestión de problemas, recursos de mantenimiento y optimización de rendimiento del sistema (Wang y Sun, 2019).

En la literatura, existen trabajos dedicados a la aplicación del análisis de confiabilidad en sistemas específicos de energías renovables. Por ejemplo, Karki y otros (2013) utilizaron el análisis de confiabilidad para evaluar el desempeño de los sistemas eólicos, y Radziemska (2003) aplicó este método a los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, todavía hay un vacío en la literatura sobre cómo integrar el análisis de confiabilidad en los marcos generales de evaluación de la sostenibilidad que cubren varios tipos de sistemas de energía renovable.

Como ya se mencionó, en los últimos años, el análisis de confiabilidad ha encontrado aplicación en varios estudios relacionados con el desarrollo sostenible, lo que indica su utilidad en la evaluación de modelos de sostenibilidad en diversos contextos.

En el área de infraestructura urbana, Yazdani et al. (2017) propusieron un modelo de resiliencia basado en la confiabilidad, la resiliencia y la vulnerabilidad para evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana, como las redes de transporte y las redes de abastecimiento de agua. En su estudio, los autores abogan por incluir medidas de confiabilidad en el proceso de evaluación para obtener una mejor imagen de la resiliencia de esos sistemas.

Otro ejemplo es de Zhang et al. (2018), quienes desarrollaron el sistema de calificación de sustentabilidad para sistemas de almacenamiento de energía que integran confiabilidad, desempeño y seguridad. El estudio encontró que la incorporación del análisis de confiabilidad en el marco de evaluación identificó áreas de mejora para optimizar el rendimiento de los sistemas de almacenamiento de energía para la sostenibilidad.

Estos ejemplos muestran que el uso del análisis de confiabilidad en el desarrollo de modelos de sustentabilidad es una tendencia creciente en varios campos. Incluir la confiabilidad en la evaluación de la resiliencia ayuda a comprender mejor los factores que afectan el rendimiento del sistema y, en última instancia, mejora la resiliencia a largo plazo.

A pesar de estos avances recientes, aún se necesita más investigación para integrar el análisis de confiabilidad en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable. Este estudio explorará el desarrollo de un sistema de calificación de sustentabilidad basado en la confiabilidad para sistemas de energía renovable que incluya métricas de confiabilidad para

brindar una evaluación más precisa de la sustentabilidad y confiabilidad de estos sistemas. Al mejorar la precisión de la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable, este estudio tiene como objetivo apoyar el desarrollo de sistemas de energía más confiables y sostenibles que contribuyan al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible globales.

Esta investigación tiene como objetivo llenar este vacío en la literatura mediante el desarrollo de un sistema de evaluación de sostenibilidad que incluye un análisis de la confiabilidad de los sistemas de energía renovable. Por lo tanto, su objetivo es proporcionar una herramienta que permita a los responsables políticos e investigadores evaluar de forma más precisa y completa el rendimiento sostenible de los sistemas de energía renovable, posibilitando así mejorar la planificación, gestión y operación de estos sistemas en el futuro.

Metodología

A continuación, se propone un método para desarrollar un sistema de evaluación para medir la sostenibilidad con énfasis en el análisis de confiabilidad. Tras una revisión exhaustiva de la literatura sobre el establecimiento de un marco de evaluación basado en la garantía, se han identificado varios pasos clave que deben tomarse para implementar un enfoque eficaz. Seguidamente, se presentan los pasos sugeridos en la metodología.

El marco de sostenibilidad basado en la confiabilidad se puede aplicar a una variedad de sistemas de energía renovable, como turbinas eólicas, paneles solares e hidroelectricidad, y los resultados se comparan con las evaluaciones de sostenibilidad tradicionales que no consideran los factores de confiabilidad. Esto puede ayudar a evaluar la eficacia del marco en diferentes contextos e identificar oportunidades de mejora.

Se recomienda realizar un análisis de sensibilidad para evaluar la robustez del sistema de calificación de sostenibilidad en función de los cambios en los datos y los parámetros de entrada. Esto puede ayudar a identificar los factores más importantes que contribuyen a la efectividad de la sostenibilidad y la confiabilidad y aumentar la precisión de la evaluación.

Un marco de sostenibilidad basado en la confiabilidad se puede combinar con otros marcos de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) o los Tres Puntos Básicos (TBL, por sus siglas en inglés). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son un conjunto de objetivos globales establecidos por las Naciones Unidas para abordar los desafíos de sostenibilidad global como la pobreza, la desigualdad y el cambio climático. TBL es un enfoque para la evaluación del desempeño empresarial que considera no solo los beneficios económicos, sino también el impacto social y ambiental de la empresa.

La integración de diferentes marcos de sostenibilidad puede ayudar a proporcionar una evaluación más completa del desempeño de sostenibilidad de los sistemas de energía renovable y ayudar en el desarrollo de estrategias integrales de sostenibilidad. Por ejemplo, al combinar un sistema de evaluación de la sostenibilidad basado en la confiabilidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, no solo se puede evaluar la confiabilidad y la sostenibilidad del sistema de energía

renovable, sino también su contribución al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible globales. Al combinar un sistema con estos dos enfoques, no solo se puede evaluar el desempeño económico del sistema de energía renovable, sino también su impacto social y ambiental. Esta integración puede ayudar a garantizar que se tengan en cuenta las múltiples dimensiones de la sostenibilidad al evaluar los sistemas de energía renovable y ayudar a desarrollar estrategias integradas para abordar los desafíos económicos, sociales y ambientales.

También es recomendable realizar una evaluación a largo plazo de los sistemas de energía renovable evaluados utilizando un sistema de clasificación de la sostenibilidad basado en la confiabilidad. Esto puede ayudar a identificar tendencias o problemas a largo plazo que pueden no ser evidentes de inmediato en las evaluaciones a corto plazo.

Finalmente, es necesario evaluar las implicaciones políticas de un sistema y cómo se puede utilizar para apoyar el desarrollo de políticas energéticas sostenibles. Esto puede incluir aprender cómo usar el marco para comunicar incentivos de energía renovable y cómo usarlo para apoyar el desarrollo de principios de desarrollo sostenible.

Otro punto para considerar es el aspecto ético y social de cualquier modelo de evaluación de la sostenibilidad. La introducción de sistemas de energía renovable puede tener impactos sociales y ambientales significativos en las comunidades locales y los ecosistemas que las rodean. Por ejemplo, el desarrollo de proyectos de energía renovable puede afectar los derechos de las comunidades locales, especialmente aquellas cuyo sustento depende de los recursos naturales. Además, el desarrollo de proyectos de energías renovables puede causar impactos ambientales negativos como pérdida de biodiversidad, contaminación del agua y del aire.

Por lo tanto, es importante considerar estos factores éticos y sociales al desarrollar un sistema de evaluación de la sostenibilidad. Esto puede incluir identificar, abordar y consultar con las comunidades locales para garantizar el desarrollo sostenible y equitativo de los proyectos de energía renovable. Esto también puede incluir la inclusión de impactos ambientales en la evaluación de la sostenibilidad y la inclusión de indicadores para medir estos impactos.

Consideraciones técnicas del estudio

Para llevar a cabo un estudio de evaluación de sostenibilidad con énfasis en la confiabilidad de sistemas de energía renovables, es necesario seguir una serie de pasos fundamentales que permitan una evaluación completa y precisa del rendimiento del sistema. Estos pasos son los siguientes:

1. Determinar el alcance de la evaluación: Defina el alcance de la evaluación, incluido el sistema de energía renovable que se está evaluando y la duración de la evaluación.

2. Determinar el coeficiente de confianza. Identifique los factores clave de confiabilidad relevantes para el sistema de energía renovable que se está evaluando, como las tasas de falla, el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento.
3. Determinación del factor de durabilidad. Identificar los principales impulsores de sostenibilidad relevantes para el sistema de energía renovable evaluado, como las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso del agua y el uso de la tierra.
4. Definición del indicador. Desarrolle métricas para cada uno de los factores de confiabilidad y durabilidad identificados en los pasos 2 y 3. Estos indicadores deben ser cuantitativos y medibles.
5. Peso: asigne pesos a varias métricas en función de su importancia relativa para las medidas de solidez y confiabilidad.
6. Recolectar datos. Recopile datos sobre los diversos indicadores identificados en los pasos 2 a 5. Estos datos se pueden obtener de una variedad de fuentes, como fabricantes, agencias gubernamentales y auditores externos.
7. Cálculo del índice de estabilidad según confiabilidad. El índice de resistencia basado en la confiabilidad (RBSI) para un sistema de energía renovable se evalúa de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$RBSI = \frac{\sum R_i * W_i}{\sum S_i * W_i}$$

Dónde:

R_i = Métrica de confiabilidad

W_i = Peso para la métrica de confiabilidad

S_i = Métrica de sostenibilidad

8. Interpretación de los resultados: Interpretar el RBSI para evaluar el rendimiento de sostenibilidad y confiabilidad del sistema de energía renovable que se está evaluando. Un RBSI más alto indica un mejor rendimiento de sostenibilidad y confiabilidad, mientras que un RBSI más bajo indica un rendimiento deficiente de sostenibilidad y confiabilidad.

Este procedimiento se puede adaptar al contexto específico del sistema de energía renovable que se está evaluando, y los pesos asignados a las diferentes métricas se pueden ajustar en función de los objetivos y prioridades específicos de la evaluación. El marco también puede actualizarse con el tiempo a medida que se disponga de nuevos datos o a medida que cambien los objetivos y prioridades de la evaluación.

Para garantizar que las medidas de confiabilidad se incorporen correctamente en un marco de sostenibilidad basado en la confiabilidad, hay varios aspectos importantes a considerar. Primero, es necesario considerar las medidas de confiabilidad relevantes para el sistema de energía renovable en particular que se está evaluando. Esto puede incluir métricas como tasas de falla,

tiempo de inactividad y capacidad de recuperación del sistema. Es importante señalar que los indicadores de confiabilidad también deben ser medibles y cuantificables. Esto puede incluir la recopilación y el análisis de datos relevantes, como registros de fallas y mantenimiento, para calcular de manera precisa y confiable las métricas de confiabilidad.

Además, se deben considerar los límites y fronteras de los indicadores de confiabilidad. Cabe señalar que no todas las mediciones de confiabilidad pueden ser apropiadas o aplicables en todos los contextos y que algunas mediciones pueden tener incertidumbre o sesgo de medición.

Finalmente, es importante incluir indicadores de confiabilidad de manera consistente y estructurada en la evaluación para garantizar que se incluyan todos los aspectos relevantes del índice de confiabilidad del sistema de energía renovable creado. Esto puede incluir definir claramente las medidas de confiabilidad bajo consideración, asignar los pesos apropiados e incorporar las medidas de confiabilidad en el cálculo del índice de resistencia basado en la confiabilidad. Siguiendo estos principios básicos, es posible desarrollar un sistema sólido y completo para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable.

Las métricas de sostenibilidad son herramientas que permiten medir y evaluar el desempeño ambiental, social y económico de una organización o sistema. A continuación, se presentan algunas de las métricas de sostenibilidad más comunes:

- Huella de carbono: la huella de carbono mide la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por una organización o actividad en particular.
- Huella hídrica: la huella hídrica mide la cantidad de agua utilizada directa o indirectamente por una organización o actividad, incluyendo el agua utilizada en la producción de bienes y servicios.
- Huella ecológica: la huella ecológica mide el impacto humano en los recursos naturales, incluyendo la cantidad de tierra y agua utilizada, así como la cantidad de residuos producidos.
- Índice de sostenibilidad corporativa: el índice de sostenibilidad corporativa mide la sostenibilidad de una organización en términos de su desempeño ambiental, social y económico.
- Puntuación de sostenibilidad: la puntuación de sostenibilidad es una medida comparativa que permite a las organizaciones comparar su desempeño ambiental, social y económico con el de otras organizaciones.
- Indicadores de bienestar: los indicadores de bienestar miden el bienestar social y económico de una comunidad, incluyendo la salud, la educación y el empleo.
- Índice de calidad de vida: el índice de calidad de vida mide el bienestar social y económico de una comunidad, incluyendo la salud, la educación, el empleo y el acceso a los servicios básicos.

Estrategias de modelado para la implementación del marco de evaluación de sostenibilidad basado en la confiabilidad

Se pueden utilizar varios métodos de modelado para implementar el concepto de evaluación de la sostenibilidad basada en la confiabilidad de los sistemas de energía renovable. La elección del enfoque adecuado dependerá del contexto específico del sistema de energía renovable que se esté evaluando y de los objetivos de la evaluación.

Uno de los enfoques de modelado más utilizados es el modelado de dinámica de sistemas, que es un método para modelar sistemas complejos que involucran retroalimentación y retrasos de tiempo. Este enfoque se puede utilizar para modelar interacciones entre diferentes factores de sostenibilidad y confiabilidad, y cómo los cambios en un factor afectan el rendimiento de todo el sistema. Como ejemplo, se puede mencionar el desarrollo de un modelo de dinámica del sistema para evaluar cómo los cambios en las prácticas de mantenimiento afectan la confiabilidad y durabilidad de un sistema de energía renovable.

Otro enfoque para el modelado es el análisis del ciclo de vida (ACV), que es un método para evaluar el impacto ambiental de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima hasta su eliminación. El ACV se puede utilizar para evaluar el rendimiento sostenible de los sistemas de energía renovable al considerar factores como las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de energía y el agotamiento de los recursos. Al integrar las mediciones de confiabilidad con el ACV, es posible implementar un marco de persistencia basado en confiabilidad utilizando este enfoque.

Además, la simulación de Monte Carlo es un método para evaluar la incertidumbre y el riesgo asociado con sistemas complejos. Este enfoque se puede utilizar para evaluar la confiabilidad operativa de un sistema de energía renovable al simular la ocurrencia de varias fallas y estimar el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento. Al incorporar elementos de sostenibilidad en el modelo utilizando este enfoque, se puede implementar un sistema de evaluación de la sostenibilidad basado en la confiabilidad.

Es importante tener en cuenta que estos enfoques de modelado no se excluyen mutuamente y se pueden combinar para proporcionar una evaluación más completa y precisa del rendimiento sostenido y la confiabilidad de los sistemas de energía. En última instancia, la elección del método de modelado dependerá del contexto específico del sistema de energía renovable que se esté evaluando y de los objetivos de la evaluación.

Al aplicar las simulaciones de Monte Carlo para desarrollar un sistema de evaluación de la sostenibilidad basado en la confiabilidad para los sistemas de energía renovable, se deben seguir varios pasos generales. Primero, es necesario identificar las variables de entrada que son relevantes para la confiabilidad y robustez del sistema bajo evaluación. Estas variables pueden incluir tasas de falla, costos de mantenimiento esperados y condiciones ambientales que afectan el rendimiento del sistema. Después de determinar las variables de entrada, es necesario definir distribuciones de probabilidad que describan las probabilidades de diferentes valores de cada

variable. Estas distribuciones pueden basarse en datos históricos, opiniones de expertos u otras fuentes de información. A continuación, se generan muestras aleatorias de cada variable de entrada en función de la distribución de probabilidad especificada en el paso anterior. El número de muestras debe ser lo suficientemente grande para garantizar la validez estadística de los resultados. Luego, se modela la eficiencia del sistema de energía renovable utilizando las muestras aleatorias generadas previamente. Esto incluye el modelado de fallas que ocurren según las variables de entrada y la estimación del tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento. Con base en los resultados de la simulación de Monte Carlo, es posible calcular el Índice Basado en Confiabilidad (RBSI, por sus siglas en inglés), que se utiliza para evaluar la estabilidad y confiabilidad del sistema evaluado.

Una vez que se calcula el RBSI, los resultados se interpretan para evaluar la sostenibilidad y confiabilidad del sistema de energía renovable. Se identifican los factores más importantes que afectan la estabilidad y la confiabilidad, y se evalúa la medida en que cada factor afecta el rendimiento general. Finalmente, cuando sea posible, los resultados de la evaluación pueden usarse para hacer recomendaciones sobre cómo mejorar el sistema de energía renovable para una mayor sostenibilidad y confiabilidad.

Sistemas de paneles solares

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad mediante células fotovoltaicas. A medida que la energía renovable se vuelve cada vez más importante en todo el mundo, es fundamental evaluar la sostenibilidad de este tipo de sistema. El marco de sostenibilidad propuesto puede ayudar a evaluar eficazmente la capacidad de los sistemas fotovoltaicos para proporcionar energía sostenible y confiable a largo plazo. Este tipo de evaluación tiene en cuenta factores ambientales, emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de agua, además de los factores económicos y sociales mencionados. En última instancia, el desarrollo de un sistema de evaluación de la solidez de los sistemas fotovoltaicos puede ayudar a desarrollar y operar sistemas más confiables en el futuro.

Simulación de Monte Carlo en paneles solares

Existen varias direcciones posibles de investigación que podrían contribuir al desarrollo de evaluaciones más completas y precisas de la estabilidad de los sistemas solares utilizando simulaciones de Monte Carlo. Una opción es desarrollar una nueva simulación de Monte Carlo que se adapte al contexto del sistema solar que se está evaluando y tenga en cuenta los factores relevantes de sostenibilidad y confiabilidad. Este modelo puede evaluar el rendimiento del sistema solar en diferentes escenarios climáticos y el comportamiento del usuario, y ayuda a identificar los impulsores más importantes para la sostenibilidad y la confiabilidad.

Otra opción es realizar un estudio de caso de un sistema solar real para evaluar su estabilidad y confiabilidad utilizando una simulación de Monte Carlo. Este estudio de caso se puede utilizar para probar la precisión y el rendimiento del modelo de simulación, y para desarrollar mejores prácticas y recomendaciones para evaluar la resiliencia del sistema fotovoltaico.

Además, es importante evaluar las implicaciones políticas del uso de simulaciones de Monte Carlo para evaluar la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos y explorar cómo se pueden utilizar los resultados de la evaluación para realizar un informe de elaboración de políticas de energía renovable. Esto puede incluir el desarrollo de programas de incentivos, regulaciones y otras iniciativas políticas que apoyen el desarrollo de sistemas de energía solar confiables y sostenibles.

Evaluación del ciclo de vida en paneles solares

La Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) es un método utilizado para evaluar el impacto ambiental de un producto o sistema a lo largo de su ciclo de vida, incluida la extracción de materias primas, la producción, el transporte, el uso, el uso final y la eliminación. La metodología ACV se puede utilizar para identificar puntos críticos ambientales en un producto o sistema y recomendar estrategias para mejorar su sostenibilidad.

El primer paso para realizar un ACV es definir el propósito y el alcance del estudio. En este caso, el objetivo es evaluar el impacto ambiental de los paneles fotovoltaicos a lo largo de su vida útil. El alcance de la investigación incluye la producción de materias primas, fabricación de paneles, transporte, instalación y eliminación al final de su vida útil.

El siguiente paso es recopilar datos sobre las entradas y salidas durante el ciclo de vida del panel solar, incluidos los costos de energía y materiales, así como las emisiones al aire, agua y tierra. Esto incluye materias primas como el silicio, el vidrio y el aluminio, así como los costos de energía para la producción y el transporte.

El tercer paso es evaluar el impacto potencial del ciclo de vida de los paneles solares en el medio ambiente en función de los datos recopilados durante el análisis de inventario. Esto implica el uso de categorías de impacto como el potencial de calentamiento global, el potencial de acidificación, el potencial de eutrofización y el potencial de toxicidad humana.

El paso final es interpretar los resultados del ACV e identificar áreas de mejora en la sostenibilidad del ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos. Esto podría incluir estrategias como la reducción de los costos de energía, el uso de materiales reciclados o la mejora de los métodos de eliminación de productos al final de su vida útil. Para realizar un estudio cualitativo, también es necesario determinar qué tipo de impacto ambiental se debe evaluar. La Tabla 1 muestra las diferentes categorías que se pueden evaluar en un estudio de evaluación del ciclo de vida.

Tabla 1: Categorías de impacto ambiental evaluadas en estudios de ACV de paneles solares

Categoría de Impacto Ambiental	Descripción
Potencial de calentamiento global	Mide el impacto potencial de las emisiones de gases de efecto invernadero en el calentamiento global, típicamente reportado en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e)
Potencial de	Mide el impacto potencial de los contaminantes ácidos en los sistemas

acidificación		de suelo y agua, típicamente reportados en unidades de dióxido de azufre equivalente (SO _{2e})
Potencial de eutrofización	de	Mide el impacto potencial del exceso de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, típicamente reportado en unidades de nitrógeno o fósforo equivalente (N o P)
Potencial de toxicidad humana	de	Mide el impacto potencial de los contaminantes tóxicos en la salud humana, típicamente reportados en unidades de equivalentes tóxicos (EQT)
Potencial de agotamiento del ozono	de	Mide el impacto potencial de las sustancias que agotan la capa de ozono en la capa de ozono, típicamente reportado en unidades de potencial de agotamiento del ozono (PAO)

Fuente: Elaboración propia

La producción y uso de paneles fotovoltaicos tiene un impacto ambiental significativo en cada etapa de su ciclo de vida. Cada paso, desde la extracción de materias primas hasta el tratamiento final, puede contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental. La Tabla 2 muestra los principales impactos ambientales de las etapas del ciclo de vida de la energía fotovoltaica, incluyendo la extracción y producción de materiales, el transporte, la instalación y el mantenimiento, y la disposición final. La información proporcionada en esta tabla puede ser útil para identificar áreas críticas en el ciclo de vida de los paneles solares que necesitan mejoras en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.

Tabla 2: Impactos ambientales clave de las etapas del ciclo de vida de los paneles solares

Etapa del ciclo de vida	Impactos ambientales clave
Extracción de materia prima	Uso del suelo, uso del agua, uso de la energía, emisiones de gases de efecto invernadero
Fabricación	Uso de energía, emisiones de gases de efecto invernadero, generación de residuos peligrosos
Transporte	Uso de energía, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación atmosférica
Fase de uso	Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, reducción de la contaminación atmosférica
Eliminación al final de su vida útil	Generación de residuos peligrosos, potencial de reutilización de materiales y reciclaje

Fuente: Elaboración propia

La evaluación del ciclo de vida de los paneles solares es importante para comprender los impactos ambientales y sociales de su producción y uso. La Tabla 3 muestra tres métodos comúnmente utilizados para el análisis del ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos. La elección del método dependerá del alcance del análisis y la disponibilidad de datos. Debe recordarse que la evaluación

completa del ciclo de vida de las células solares debe incluir factores ambientales, económicos y sociales para garantizar una imagen completa de su sostenibilidad.

Tabla 3: Metodologías usadas en el análisis del ciclo de vida en paneles solares.

Metodología	Descripción
Modelado basado en procesos	Modelar los impactos ambientales de cada paso en el ciclo de vida del panel solar, basándose en datos sobre entradas de materiales y energía y salidas de emisiones
Modelado de entrada-salida	Modela los impactos ambientales del ciclo de vida del panel solar en función de las transacciones económicas y los flujos de materiales entre diferentes sectores de la economía.
Modelado híbrido	Combina modelos basados en procesos y de entrada-salida para capturar tanto los impactos ambientales detallados del proceso de producción como las implicaciones económicas y sociales más amplias del ciclo de vida del panel solar.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 proporciona una serie de recomendaciones para mejorar la vida útil de los paneles solares, según los estudios de Evaluación del Ciclo de Vida (ECV). La metodología ECV es una herramienta útil para evaluar el impacto ambiental de los paneles solares a lo largo de su ciclo de vida, incluida la extracción de materias primas, la producción, el transporte, el uso y la eliminación al final de su vida útil, como se mencionó anteriormente. Las recomendaciones de esta tabla se basan en los resultados de estudios ECV y ofrecen soluciones prácticas para aumentar la durabilidad de los paneles solares. Estas recomendaciones incluyen el uso de materiales reciclados,

la mejora de la eficiencia de la producción, la mejora del reciclaje al final de la vida útil, el uso de energía renovable en la fabricación y el transporte, el diseño de productos integrados y la implementación de programas de mantenimiento y monitoreo. La implementación de estas recomendaciones puede ayudar a reducir el impacto ambiental negativo asociado con la producción y el uso de paneles solares y facilitar la transición a sistemas de energía renovable más sostenibles.

Tabla 4: Recomendaciones para mejorar la sostenibilidad de los paneles solares basadas en estudios de ACV.

Recomendación	Descripción
Uso de materiales reciclados	Reduce los impactos ambientales de la extracción y fabricación de materias primas
Mejora de la eficiencia de fabricación	Reduce el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de paneles solares
Eliminación mejorada al final de la vida útil	Aumenta el potencial de reutilización y reciclaje de materiales y reduce la generación de residuos peligrosos
Uso de energía renovable en la fabricación y el transporte	Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles
Diseño de producto integrado	Considera los impactos ambientales de todo el ciclo de vida del producto, desde el diseño hasta la eliminación al final de su vida útil

Fuente: Elaboración propia

Evaluar la durabilidad de los paneles solares es un tema complejo que requiere diferentes enfoques y métodos. Desde evaluaciones del ciclo de vida hasta simulaciones de Monte Carlo, se han desarrollado herramientas y métodos para evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales de los sistemas solares. A medida que los sistemas solares se vuelven cada vez más importantes en la transición hacia una economía baja en carbono, es importante continuar con la investigación y el desarrollo de métodos de evaluación de la sostenibilidad para garantizar un futuro sostenible y próspero.

Conclusiones

En síntesis, para que un sistema basado en la confiabilidad evalúe la sostenibilidad de los sistemas de fuentes renovables, se deben tener en cuenta varios aspectos, tanto técnicos como sociales. Además de realizar el análisis del ciclo de vida, la confiabilidad de los sistemas renovables también se puede evaluar mediante métodos como el análisis del árbol de fallas, los modelos de Markov y los diagramas de flujo de confiabilidad. Esto identificará los modos de falla críticos, estimará el tiempo de inactividad del sistema y los costos de mantenimiento, y además desarrollará estrategias para mejorar la confiabilidad del sistema.

Es necesario integrar algunos indicadores de sostenibilidad. Además del impacto ambiental, también se deben considerar otros indicadores de sostenibilidad como la viabilidad económica y la equidad social. Esto permite el desarrollo de un marco integral para evaluar la sostenibilidad general de los sistemas de energía renovable y para determinar los equilibrios y sinergias entre diferentes indicadores de sostenibilidad. Una vez que se hayan identificado los impactos ambientales más significativos y las preocupaciones sobre la confiabilidad de los sistemas renovables, se pueden usar técnicas de optimización para determinar la combinación óptima de componentes del sistema, procesos de fabricación y estrategias de mantenimiento para maximizar

la sustentabilidad y la confiabilidad. Esto puede implicar la realización de análisis de sensibilidad y la exploración de compensaciones entre diferentes métricas de sostenibilidad y confiabilidad.

Además de centrarse en un solo sistema, también se puede comparar la sostenibilidad y confiabilidad de otros sistemas de energía renovable. Esto identificará las fortalezas y debilidades de los diferentes sistemas de energía renovable y desarrollará estrategias para optimizar el uso de múltiples fuentes de energía renovable.

Es importante considerar los impactos sociales y éticos de la producción y el uso de energías renovables, incluidos temas como los derechos laborales, la salud humana y la justicia ambiental. Esto proporcionará un marco más completo para evaluar la resiliencia del sistema e identificar estrategias para garantizar la optimización de los sistemas de energía renovable.

En resumen, este capítulo presenta un sistema basado en la confiabilidad para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable, teniendo en cuenta factores de confiabilidad como las tasas de falla y el tiempo de inactividad. El estudio revisó la literatura existente sobre la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de energía renovable, analizó modelos de confiabilidad y desarrolló un sistema de evaluación de la sostenibilidad basado en la confiabilidad. La literatura sugiere que un marco de sostenibilidad basado en la confiabilidad puede proporcionar una evaluación más precisa del desempeño sostenible de los sistemas de energía renovable. El estudio también identifica áreas para futuras investigaciones, como análisis de sensibilidad y estudios de integración con otros marcos de sostenibilidad. En general, un sistema de evaluación de sostenibilidad basado en la confiabilidad puede contribuir al desarrollo de sistemas de energía renovable más confiables y sostenibles.

La importancia de este sistema de calificación de sostenibilidad basado en la confiabilidad es que las evaluaciones de sostenibilidad actuales para los sistemas de energía renovable no consideran adecuadamente los factores de confiabilidad. Esto puede dar lugar a una evaluación inexacta del rendimiento de la sostenibilidad y, en última instancia, a sistemas menos confiables y resistentes. Al incluir factores de confiabilidad en la evaluación de la sostenibilidad, el marco propuesto puede proporcionar una evaluación más precisa del desempeño sostenible de los sistemas de energía renovable, lo que puede conducir a un mejor diseño y mantenimiento. Al mismo tiempo, un sistema de evaluación de la sostenibilidad basado en la confiabilidad es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible globales, ya que los sistemas de energía renovable son una parte integral de la transición hacia una economía baja en carbono. La capacidad de evaluar de forma precisa y confiable el rendimiento sostenible de los sistemas de energía renovable es fundamental para garantizar que se cumplan los objetivos de sostenibilidad, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la protección del medio ambiente.

Futuras líneas de investigación

Cabe señalar que la sostenibilidad y confiabilidad de los sistemas de energía renovable, principalmente paneles solares, continúa siendo un área de investigación activa y en crecimiento. Si bien se ha logrado un progreso significativo en la comprensión y evaluación de los impactos

ambientales y socioeconómicos de los paneles solares, aún quedan muchas preguntas por responder. Una investigación futura debería explorar y desarrollar tecnologías y métodos innovadores para mejorar aún más la durabilidad y confiabilidad de los paneles solares y probar la efectividad de las soluciones existentes. Además, se necesita más investigación para comprender el impacto y la eficiencia de las fuentes de energía renovable en diferentes condiciones socioeconómicas y regionales, y para abordar cuestiones de equidad social y equidad en la introducción y el uso de la energía verde. En general, se espera que investigaciones futuras continúen mejorando la sostenibilidad y confiabilidad de los sistemas de energía renovable y su capacidad para satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad de manera segura, equitativa y sostenible.

Para mejorar aún más el rendimiento y la confiabilidad de los sistemas de energía renovable, es necesario investigar y desarrollar continuamente nuevas tecnologías y métodos para evaluar la sostenibilidad. Además, es importante continuar estudiando los impactos ambientales y sociales de este tipo de energías a lo largo de su ciclo de vida, con un enfoque particular en la identificación de oportunidades para aumentar la sostenibilidad en todos los niveles de las etapas del ciclo de vida. La investigación futura también puede centrarse en combinar tecnologías de energía renovable, así como en optimizar los sistemas de almacenamiento de energía para mejorar la confiabilidad y la durabilidad. En general, existe un gran potencial para mejorar aún más la sostenibilidad de los futuros sistemas de energía renovable y la investigación en esta área será crucial para lograr un futuro más sostenible y más verde.

Referencias

International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable Energy Statistics 2021. <https://www.irena.org/publications/2021/Mar/Renewable-Energy-Statistics-2021>.

IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

International Renewable Energy Agency. (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019.

Aqlan, F., Mustafa, S., & Ahmad, A. (2019). Sustainability and reliability assessment of wind energy systems. *Renewable Energy*, 139, 1095-1108.

Dahal, G., Pandey, S., & Lohani, S. (2020). A review on reliability of renewable energy systems: Concepts, methodologies, and future research directions. *Renewable Energy*, 160, 728-741. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.029>

Ebeling, C. E. (2010). An introduction to reliability and maintainability engineering. Waveland Press.

International Renewable Energy Agency. (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019.

International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable Energy Statistics 2021. <https://www.irena.org/publications/2021/Mar/Renewable-Energy-Statistics-2021>.

IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Karki, R., Billinton, R., & Karki, R. (2013). Reliability modeling and performance analysis of a wind energy conversion system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 28(1), 29-37.

Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265-2300.

Radziemska, E. (2003). The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renewable Energy*, 28(1), 1-12.

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2017). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15(1), 281-299.

United Nations Environment Programme. (2021). Global Trends in Renewable Energy Investment 2021. <https://www.fs-unep-centre.org/global-trends-in-renewable-energy-investment-2021/>.

Wang, H., & Guo, S. (2019). Reliability analysis of renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.032>

Wang, P., & Sun, W. (2019). Reliability evaluation of grid-connected photovoltaic systems considering climate and installation factors. *Renewable Energy*, 136, 841-853.

Yazdani, S., Jeffrey, P., & de Neufville, R. (2017). A framework for managing the resilience of urban infrastructure systems using an integrated Bayesian Network and robust optimization approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 167, 250-263.

Zhang, H., Fu, J., Wang, L., & Li, Z. (2018). A sustainability evaluation method for energy storage systems using a reliability-based multi-objective optimization approach. *Applied Energy*, 230, 1193-1203.

Enfoques y métodos para resolver problemas sociales y productivos de manera sostenible

Se terminó de editar en julio del 2023 en los talleres de Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC Pompeya # 2705. Colonia Providencia C.P. 44670 Guadalajara, Jalisco. México Teléfono: 01 (33) 1061 8187

