

Rumbo a una transición energética sustentable: un análisis del potencial de las energías renovables

Milene Allauja Ayllon

201910981@urp.edu.pe

ORCID:

Gemma Julcamoro Leyton

201820864@urp.edu.pe

Kristy Tirado Flores

kristy.tirado@urp.edu.pe

Bacner Villano Delgado

202011474@urp.edu.pe

Universidad Ricardo Palma

RESUMEN

Las energías renovables son una solución fundamental para lograr una transición hacia un desarrollo sustentable. Las fuentes solares, eólicas, biogás e hidroeléctricas tienen el potencial de cambiar la escena energética global al ser limpias, abundantes y de bajo impacto ambiental, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y el bienestar social a través de una economía circular.

Esta investigación indaga sobre los beneficios sociales, económicos y ambientales que generan las energías renovables. Para ello, se realizó una revisión de la literatura para analizar los resultados prácticos de las energías renovables en entornos reales.

PALABRAS CLAVE: energías renovables, desarrollo sustentable, ambiente

Heading towards a sustainable energy transition: an analysis of the potential of renewable energies

ABSTRACT

Renewable energies are a fundamental solution to achieve a transition towards sustainable development. Solar, wind, biogas and hydroelectric sources have the potential to change the global energy scene by being clean, abundant and with low environmental impact, contributing to the mitigation of climate change and social well-being through a circular economy.

This research investigates the social, economic and environmental benefits generated by renewable energies. To this end, a literature review was carried out to analyze the practical results of renewable energies in real environments.

KEYWORDS: renewable energies, sustainable development, environment

Introducción

En el Perú una gran parte de la energía producida se da de recursos no renovables, generando alta contaminación. El incremento de la población, los avances tecnológicos y el desarrollo de nuevas industrias han ocasionado un progresivo aumento en el consumo de energía y, con ello, nuevas exploraciones de fuentes energéticas para satisfacer la demanda en estos últimos años (Waheed y otros, 2019).

La preocupación por el cambio climático y la búsqueda de alternativas sostenibles a los combustibles fósiles han impulsado el interés en las energías renovables como una solución prometedora para mitigar los impactos negativos.

Las energías renovables son conocidas como energías limpias o verdes que se obtienen de recursos naturales inagotables y se renuevan continuamente en la naturaleza. En cambio, los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón tienen una disponibilidad limitada y su extracción y quema emiten gases de efecto invernadero.

A nivel mundial, se viene investigando alternativas de energías que sean no contaminantes y renovables. Estas alternativas juegan un papel crucial en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la mitigación del cambio climático (Roldán, 2013). A medida que las tecnologías continúen mejorando y los costos disminuyan, se espera que estas fuentes tengan un papel cada vez más importante en la matriz energética global.

En los últimos años, el gobierno peruano busca aumentar el uso de energías renovables en un 80% para 2050. Entre las energías renovables más empleadas destacan la solar, con proyectos de electrificación rural y la Central Solar Atalaya. La energía eólica cuenta con cinco centrales en funcionamiento y dos en proyecto. La biomasa se utiliza para generar calor, electricidad y combustibles. La energía hidráulica, principalmente del Complejo Hidroeléctrico del Mantaro representa el 55% de la producción energética del país.

Las energías renovables tienen un papel fundamental en la transformación del sector energético global hacia un futuro más sostenible en el medio ambiente. A medida que el mundo se enfrenta a desafíos como el cambio climático, la escasez de recursos y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la comprensión de lo que son las energías renovables y cómo funcionan es esencial.

A pesar del esfuerzo, las energías renovables enfrentan desafíos tecnológicos, económicos y regulatorios. La intermitencia de la generación solar y eólica plantea problemas de almacenamiento y gestión de la red. Además, las inversiones y los costos de desarrollo aún pueden ser prohibitivos en algunos casos. Es crucial la investigación y desarrollo de tecnologías y reducir los costos para maximizar el aprovechamiento de estas fuentes.

El interés de relacionar el consumo de energía con el crecimiento económico surgió después de la investigación realizada por Kraft (1978), quienes realizando un análisis de causalidad para los Estados Unidos encontraron una relación entre las dos variables. Desde entonces, varios estudios tanto para países desarrollados como subdesarrollados obtuvieron diversos resultados paradójicos acerca de la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía. Además, en investigaciones recientes, cuyo objetivo es el de realizar un análisis más profundo entre la relación del consumo de energía y crecimiento económico, optaron por introducir los efectos a corto y largo plazo entre las variables, y de esta manera lograr un mayor sustento y efectividad en la implementación de políticas de gobierno relacionadas con la conservación de energía (Tiba y Omri, 2017; Magazzino, 2015 & Kahouli, 2017).

En el Perú, aún se enfrentan desafíos significativos en el ámbito energético, desafíos que pueden ser abordados de manera efectiva mediante la explotación de los recursos energéticos renovables (RER). En este contexto, el país se destacó en la región en el año 2008, al aprobar el Decreto Legislativo 1002, que promueve la inversión en la generación de electricidad a partir de fuentes de energía renovable. En los años subsiguientes, se llevaron a cabo cuatro subastas en la red eléctrica convencional y una en zonas fuera de la red, lo que permitió diversificar nuestra matriz de generación eléctrica y extraer valiosas lecciones que pueden ser aplicadas en la promoción de estas formas de energía.

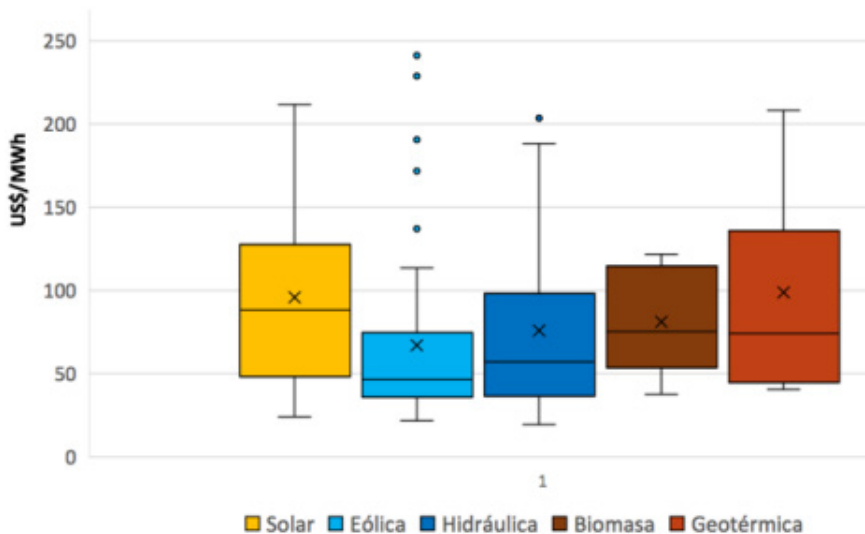
No obstante, en los últimos años, se ha observado un estancamiento en el progreso de esta industria. Por esta razón, resulta imperativo adoptar políticas y medidas que nos coloquen nuevamente a la vanguardia de la política energética en la región y nos permitan superar los desafíos que aún persisten en el sector energético peruano.

Asimismo, la energía renovable a largo plazo es más económica debido a un contexto menos variable y no depende de la coyuntura del país. De igual manera, se observa que estas energías son aceptadas socialmente y generan mayor empleo que las fuentes tradicionales. Estos tipos de energías tendrán un aumento considerable en los últimos años, pues se estima que para el 2050 el uso de energías renovables representará un beneficio de \$17 200 millones (Ministerio del Ambiente, 2023).

Por otro lado, en el caso del biogás, uno de sus mayores beneficios es que este puede ser reproducido sin tomar en cuenta la ubicación de la planta industrial. Es por ello, que no se requiere de la construcción de grandes plantas convencionales o nucleares para estos tipos de energía.

En este sentido, las energías renovables representan una solución esencial para abordar los desafíos sociales, ambientales y energéticos actuales. Sin embargo, se requiere un enfoque holístico que aborde estos desafíos para garantizar una transición exitosa hacia un sistema energético sostenible.

Figura 1. Costo nivelado de electricidad para generadores



Fuente: IEA y NEA (2020)

Esta investigación indaga sobre el potencial de las energías renovables; así como su papel en la transición hacia un sistema energético más limpio y sustentable. Para ello, tiene como objetivo estimar indicadores de rentabilidad social y económica.

Revisión de la literatura

Los artículos científicos revisados exploran la importancia de las fuentes de energía renovables para un futuro sostenible, identificando los beneficios de las fuentes de energía renovables, los diferentes tipos de fuentes de energía renovables y los desafíos y oportunidades de descarbonizar el sistema eléctrico.

Importancia de las energías renovables en la mitigación del cambio climático

Las energías renovables se destacan como la solución clave para abordar el desafío del cambio climático al limitar el aumento de la temperatura global. Representan una vía segura y asequible para reducir las emisiones de carbono, constituyendo la base de la estrategia global de mitigación junto con la eficiencia energética. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) destaca que, para lograr los objetivos climáticos, se debe obtener al menos el 85% de la energía mundial de fuentes renovables para 2050. Además de combatir el cambio climático, esta transición energética puede

impulsar la economía y crear empleos. El sector eléctrico ya avanza en esta dirección, pero otros sectores, como el transporte y la calefacción, requieren una mayor adopción de energías renovables. El mundo está presenciando una tendencia global hacia las energías limpias, con la caída de costos y el compromiso de numerosos países y empresas. Sin embargo, se necesita un enfoque más decidido para lograr un futuro climáticamente seguro y próspero a través de la energía renovable y la eficiencia energética (International Renewable Energy Agency - IRENA, 2023).

Según el World Energy Transitions Outlook 2022 de IRENA, la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, se ha convertido en la opción más económica en la mayoría de las regiones. Los costos promedio de la electricidad de proyectos comerciales de energía solar fotovoltaica (PV) han disminuido un 85% entre 2010 y 2020. Las reducciones de costos correspondientes para la energía solar concentrada (CSP) fueron del 68%, la energía eólica terrestre disminuyó un 56%, y la energía eólica marina un 48%. Como resultado, las energías renovables se han convertido en la elección predeterminada para expandir la capacidad en el sector eléctrico de la mayoría de los países. Estas tecnologías han consolidado su dominio con el tiempo. La descarbonización de otros sectores, como el transporte y la calefacción, también se está volviendo esencial para cumplir con los objetivos climáticos y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, es crucial tomar medidas audaces en los próximos años para acelerar esta transición hacia las energías renovables y mantener el rumbo hacia el objetivo climático de 1,5°C para 2050. Se necesitan inversiones significativas, políticas efectivas y una cooperación internacional sólida para lograr una transición energética justa e inclusiva (International Renewable Energy Agency - IRENA, 2022).

Las Naciones Unidas también reconocen la importancia de las fuentes de energía renovables para mitigar el cambio climático. Las fuentes de energía renovables, como la eólica y la solar, emiten pocos o ningún gas de efecto invernadero, están fácilmente disponibles y, en la mayoría de los casos, son más baratas que el carbón, el petróleo o el gas (United Nations, 2023).

Las fuentes de energía renovables desempeñan un papel vital a la hora de garantizar una energía sostenible con menores emisiones. Actualmente son aceptadas como contribuyentes importantes a la reducción de las emisiones de carbono y la mitigación de los efectos del cambio climático. El desarrollo de tecnologías renovables ha encontrado obstáculos explícitos y es necesario discutir estas barreras. Sin embargo, la India ha emprendido un viaje innovador en materia de energía renovable durante los últimos cuatro años, con un ministerio dedicado e instituciones financieras y técnicas que promueven la energía renovable y diversifican su combinación energética (Majid & Kumar, 2020).

Beneficios ambientales y sociales

La adopción de energías renovables en el año 2023 conlleva a una serie de beneficios ambientales y sociales significativos. Algunos de los beneficios ambientales incluyen la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la lucha contra el cambio climático y la reducción de la contaminación atmosférica. Además, las tecnologías de energía renovable tienen una huella ecológica menor en comparación con los métodos tradicionales de extracción de recursos, lo que reduce la contribución de la industria al cambio climático (ENERGY5 Your Way, 2023).

La adopción de energías renovables también contribuye a la conservación de los recursos naturales, ya que no requiere la extracción de combustibles fósiles ni la degradación de los ecosistemas. La generación de electricidad a partir de fuentes como el sol y el viento minimiza el impacto ambiental en términos de consumo de agua y destrucción de hábitats, lo que beneficia a la biodiversidad y la sostenibilidad a largo plazo (BID, 2014).

En cuanto a los beneficios sociales, la adopción de energías renovables crea oportunidades de empleo en el sector de las energías limpias, como la instalación, mantenimiento y operación de parques solares y eólicos, así como la producción de tecnologías relacionadas. Esto genera empleos locales y estables, contribuyendo a la creación de una fuerza laboral sostenible. Además, la adopción de energías renovables descentraliza la generación de energía, permitiendo a comunidades y hogares participar activamente en la producción de electricidad. Esto puede mejorar la calidad de vida de las personas y reducir la dependencia de las grandes empresas energéticas. Otro beneficio social de la adopción de energías renovables es la reducción de las tarifas en los servicios de luz, agua y gas. La energía solar, por ejemplo, puede reducir significativamente los costos de energía eléctrica (International Renewable Energy Agency - IRENA, 2023).

Además, la adopción de energías renovables puede generar empleos indirectos en la agricultura, la ganadería, el comercio y los servicios. La expansión de los sistemas de riego y la instalación de establos electrificados, por ejemplo, pueden generar empleos indirectos en la agricultura y la ganadería.

Desafíos y barreras en la implementación

La implementación de energías renovables presenta desafíos y barreras que deben ser superados para lograr una transición exitosa hacia un futuro más sostenible. Uno de los principales obstáculos para la adopción generalizada de energías renovables es la falta de conciencia y comprensión entre el público en general. Muchas personas todavía tienen ideas erróneas sobre las energías renovables, como su eficiencia, confia-

bilidad y rentabilidad. Por lo tanto, las campañas de educación y sensibilización son cruciales para disipar estos mitos y resaltar los beneficios de las energías renovables. Otro desafío importante es la falta de inversión en tecnologías de energía renovable. Las prioridades de inversión en la industria suelen estar relacionadas con el aumento de la capacidad de producción y la cuota de mercado. Los proyectos de eficiencia energética compiten con estos proyectos y tienen una postura más difícil, ya que tienen por objeto reducir costos en lugar de aumentar ventas (BID, 2023).

Además, existen barreras técnicas que dificultan la implementación de proyectos de eficiencia energética. El usuario final no tiene los conocimientos y la capacidad para identificar, desarrollar y poner en práctica proyectos de eficiencia energética. Aun cuando las barreras tecnológicas para la implementación de proyectos de eficiencia energética son bajas, la percepción de riesgo es a menudo mucho mayor entre los consumidores y los agentes financieros debido a la naturaleza especializada de la ingeniería y el temor de interrupciones en las operaciones normales durante el proyecto de modernización. Otra barrera importante es la falta de proveedores de servicios de energía renovable con la experiencia y capacidad para desarrollar e implementar proyectos de eficiencia energética necesarios. La baja solvencia de muchos usuarios finales de la energía para recibir préstamos directos y la renuencia de muchos consumidores a asumir la deuda para este tipo de proyecto son barreras financieras que dificultan la implementación de energías renovables (Ortiz Tocora, 2020).

Por último, la ampliación en la creación de fuentes de energías renovables puede provocar el cierre de empresas vinculadas al proceso de producción de energías tradicionales y, en consecuencia, la pérdida de numerosas fuentes de trabajo. Los avances tecnológicos suelen producir cambios estructurales en los sectores de producción y en el mercado, determinando la oferta y la demanda.

Sustentabilidad como producto de la transición energética

La transición energética hacia fuentes de energía renovable es un paso importante hacia la sustentabilidad. La producción y consumo de energía y materias primas está provocando una crisis ambiental sin precedentes, con una creciente destrucción de especies y ecosistemas. El desarrollo de una transición energética basada en modelos sustentables y la medición del impacto en las matrices económicas, sociales y ambientales es fundamental para lograr un futuro más sostenible (Conahcyt, 2023).

La transición energética hacia fuentes de energía renovable también puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático. La transición energética gana visibilidad con la participación creciente de fuentes renovables, sin alterar las estructuras dominantes de gestión. Además, la transición energética puede ayudar a plasmar un futuro energético más

sostenible, lo que incluye la reducción de la huella de carbono y la promoción de soluciones energéticas con bajo contenido de carbono (Royal Dutch Shell, 2014).

Sin embargo, la transición energética también presenta desafíos y barreras que deben ser superadas para lograr una transición exitosa hacia un futuro más sostenible. Uno de los principales obstáculos para la adopción generalizada de energías renovables es la falta de conciencia y comprensión entre el público en general. Además, la falta de inversión en tecnologías de energía renovable y las barreras técnicas dificultan la implementación de proyectos de eficiencia energética. La falta de proveedores de servicios de energía renovable con la experiencia y capacidad para desarrollar e implementar proyectos de eficiencia energética necesaria, así como las barreras financieras, también son obstáculos importantes.

Metodología

El análisis costo-beneficio es un procedimiento que implica la evaluación de proyectos o decisiones de forma amplia. En este enfoque, se persigue la cuantificación explícita o implícita de los costos totales y los beneficios asociados a diversas alternativas, con el propósito de determinar la opción más favorable o rentable. Este proceso se basa en la combinación de técnicas de gestión y finanzas, fusionadas con los principios de las ciencias sociales. Por lo general, los costos y beneficios se expresan en términos de unidades de medida estándar, generalmente en forma monetaria, para permitir una comparación directa entre las diferentes opciones disponibles.

Un proyecto en el ámbito de las energías renovables requeriría una metodología específica para evaluar de manera integral los impactos económicos, sociales y ambientales de la transición a fuentes de energía sostenibles (Mathioulakis y otros, 2013). El fin de este tipo de proyectos es contribuir con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la generación de energía más limpia.

Como tal, cuando hablamos de energías renovables, consideramos las diversas fuentes como solares, eólica, hidroeléctrica, biomasa y demás. La permanencia de un proyecto social implica reducir las inconsistencias presentes de dejar las energías convencionales (Xiang y otros, 2020). Por ende, la ubicación, tamaño y tecnologías que se usarán en las zonas mencionadas estarán implicadas en el proceso de generación y sectorización de la energía. Por tal motivo, se debe considerar la evaluación de la posibilidad de no llevar a cabo el proyecto y mantener las energías convencionales.

Una vez comprendidos los primeros pasos de definición e identificación de las alternativas, se debe proceder con la evaluación económica. Con ello, estimar los costos iniciales de inversión, incluyendo la adquisición de equipos y la infraestructura necesaria. Además, se estiman los costos operativos y de mantenimiento a lo largo de

la vida útil del proyecto. También se identifican los beneficios económicos como los ingresos por la venta de energía y los ahorros en combustibles fósiles.

El siguiente punto es evaluar los impactos sociales positivos y negativos. Un impacto social positivo es la creación de empleo local y la reducción de enfermedades por la mejora de la calidad del aire. Mientras que los impactos negativos pueden ser la reubicación de comunidades locales o cambios en el uso de la tierra. Se debe tomar en cuenta la participación de la comunidad y consulta pública para considerar sus opiniones y preocupaciones. Los efectos ambientales esperados son la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales. El Análisis de Ciclo de Vida es utilizado para evaluar los efectos ambientales a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Para la valoración de los costos y beneficios, se asignan valores monetarios a los costos y beneficios económicos, sociales y ambientales. Posteriormente, se calcula el Valor Presente Neto (VPN) para determinar si los beneficios superan los costos a lo largo del tiempo. También se debe analizar la sensibilidad para evaluar cómo varían los resultados ante diferentes supuestos, como cambios en los precios de la energía o los costos de inversión.

Como siguiente paso, se deben comparar las alternativas identificadas en función de su VPN y otros indicadores relevantes. Luego, debemos seleccionar la alternativa que maximice el VPN y esté alineada con los objetivos económicos, sociales y ambientales del proyecto. Según los resultados de la evaluación de costo-beneficio y de los impactos económicos sociales y ambientales del proyecto, se realizan las recomendaciones para implementar y gestionar el proyecto, así como para la mitigación de posibles impactos negativos. Finalmente, para darle un correcto manejo al proyecto social, se debe monitorear y evaluar continuamente el proceso de la energía renovable.

Análisis de resultados

En el marco de la investigación, se revisaron diversos casos de implementación de energías renovables y los resultados de su evaluación económica costo-beneficio.

Gudlaugsson et al. (2023) evalúa los beneficios económicos y sociales de la integración de tecnologías de soluciones inteligentes y energías renovables en el sistema energético preexistentes en dos sitios piloto St-Jean, Francia y Barcelona, España. La metodología empleada se centra en cuantificar los beneficios económicos obtenidos a través de la optimización de la capacidad para satisfacer las demandas de los consumidores y proporcionar energía más limpia y reducir las emisiones. Se aplicaron técnicas de análisis costo-beneficio (ACB) para evaluar los beneficios económicos y

sociales del proyecto InteGRIDy EU Horizon. Los principales resultados obtenidos muestran que las tecnologías inteligentes y las energías renovables son económicamente viables y proporcionan una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se proporciona un marco de referencia sobre los aspectos económicos, sociales y políticos necesarios para apoyar la producción de energía híbrida eólica y biogás.

Ahmadian et al. (2017) realiza un análisis costo-beneficio de la implementación de la tecnología Vehicle-to-Grid (V2G) en redes de distribución eléctrica, considerando la degradación de la batería de los vehículos eléctricos enchufables (PEVs). La metodología empleada en el estudio es estocástica y se basa en un modelo integral de degradación de la batería de los PEVs. Se tienen en cuenta todas las incertidumbres asociadas, como la energía eólica, la demanda de carga, la hora de llegada y salida, la distancia y el tamaño de la batería de los PEVs. Los PEVs se modelan como unidades de almacenamiento de energía a granel inciertas cuya capacidad y SOC son variables estocásticas con sus correspondientes funciones de distribución de probabilidad (PDF) en perfiles de 24 horas. Las incertidumbres que surgen de la energía de carga/descarga de los PEVs y de los DG basados en el viento se manejan mediante el análisis de flujo de carga probabilístico (PLF). Los resultados del estudio muestran que la implementación de V2G sin considerar la degradación de la batería es económica. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta la degradación de la batería, la implementación de V2G puede no ser rentable. Además, se encontró que la carga inteligente de PEVs puede reducir los costos de infraestructura de la red eléctrica y mejorar la estabilidad del sistema. En general, el estudio demuestra la importancia de considerar la degradación de la batería de los PEVs en el análisis costo-beneficio de la implementación de V2G en redes de distribución eléctrica.

Mathioulakis et al. (2013) aborda las incertidumbres asociadas a los parámetros de costo-beneficio en el análisis costo-beneficio (ACB) de sistemas de energía renovable (FER) mediante una versión modificada del ACB basada en la simulación de Monte-Carlo. El enfoque busca proporcionar una evaluación más confiable de la eficacia económica de la inversión en energía solar térmica en el sector doméstico, considerando las incertidumbres relacionadas con valores monetarios y parámetros que afectan las cantidades monetarias. Se enfatiza la propagación de distribuciones de probabilidad en el análisis y se muestra un ejemplo típico de su aplicación. La metodología también se presenta como aplicable a otras categorías de productos o inversiones. La implementación de esta metodología permite evaluar la probabilidad de que la Tasa de Retorno Interno presente valores específicos, lo que facilita la toma de decisiones realistas sobre la eficacia de la inversión en condiciones de incertidumbre.

Parissis et al. (2011) realiza un análisis tecnoeconómico del sistema de energía y almacenamiento de hidrógeno en la isla de Corvo, evaluando los costos y beneficios

sociales y ambientales. La metodología utilizada consistió en calcular el período de recuperación del proyecto, teniendo en cuenta los flujos de efectivo descontados. Además, se estimó el impacto en el empleo, tanto directo como indirecto, que podría generar la implementación de esta tecnología. Para realizar el análisis, se tuvieron en cuenta los costos de operación y mantenimiento del sistema de energía y almacenamiento de hidrógeno. También se consideraron los costos de compra e instalación de los equipos, diferenciando entre los componentes nacionales y los importados. Se multiplicó el costo importado por un factor sombra para incentivar el uso de proveedores locales. Los resultados obtenidos mostraron que el período de recuperación del proyecto se estimó en aproximadamente tres años, lo cual indica que es una inversión rentable a largo plazo.

Además, se observó que la implementación de esta tecnología podría generar tanto empleos directos como indirectos, lo cual tendría un impacto positivo en la economía local. En cuanto a los costos y beneficios sociales y ambientales, se evaluaron los impactos en la salud, los cultivos, los materiales de construcción y los bosques. Se encontró que el sistema de energía y almacenamiento de hidrógeno, al utilizar energía eólica, es una fuente de energía más benigna y contribuye a la reducción de emisiones contaminantes. Cabe mencionar que se utilizó una metodología que permitió la evaluación transparente de los daños causados por las emisiones, lo cual es importante para la toma de decisiones políticas.

Xiang et al. (2020) realiza un análisis costo-beneficio de la planificación del sistema energético integrado considerando la respuesta de la demanda en China. La metodología utilizada en el estudio incluye el diseño de una estrategia de respuesta a la demanda basada en el precio, la comparación de tres modos de configuración diferentes para ilustrar los beneficios económicos y ambientales, y la realización de un análisis de sensibilidad para explorar el impacto de la restricción de la capacidad de venta y la fluctuación del precio de la electricidad y del gas en la planificación y operación del sistema energético integrado. Los principales resultados del estudio incluyen la identificación de diferencias significativas en las configuraciones de capacidad y operaciones bajo diferentes parámetros externos, la mejora de los beneficios de ahorro de energía y reducción de emisiones de gases, y la evaluación de los beneficios económicos y ambientales de la capacidad de respuesta a la demanda.

Astiaso et al. (2016) proporciona información preliminar sobre los costos económicos y las reducciones en el consumo de energía resultantes de diversas intervenciones en edificios públicos existentes en Italia. Se llevó a cabo un análisis del costo-beneficio centrado en la modernización de la eficiencia energética en edificios públicos. Se eligieron cuatro edificios públicos como ejemplos, incluyendo diversos contextos territoriales y edades de construcción. Se examinaron varias intervenciones factibles para cada edificio, evaluando sus aspectos económicos en relación con la

mejora de la eficiencia energética. Los resultados se obtuvieron mediante la recopilación de datos de consumo de energía, auditorías energéticas detalladas, análisis de costos de las intervenciones y evaluación de sus beneficios económicos y ambientales.

Los resultados muestran las mejoras en la eficiencia energética y los costos económicos asociados con cada intervención en los cuatro edificios públicos examinados, respetando las limitaciones locales. Aunque no se establece una intervención única como la más rentable para todos los casos, los datos proporcionan indicaciones valiosas para las autoridades y administraciones públicas a la hora de seleccionar intervenciones de modernización para edificios públicos con presupuestos limitados. Además, se sugiere que futuras investigaciones consideren comparaciones con datos de otros países de la UE y evaluaciones de la reducción real del consumo de energía después de la implementación de estas intervenciones, lo que permitirá evaluar los ahorros económicos a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos, aunque específicos para estos cuatro edificios, ofrecen valiosas consideraciones basadas en costos para la selección de intervenciones de eficiencia energética en otros edificios públicos.

Sofía et al. (2020) evalúa el escenario de descarbonización en Italia para 2030 mediante un análisis costo-beneficio que abarca los sectores de energía, transporte y hogar. La metodología utilizada involucró la evaluación de diferentes estrategias de mitigación, incluyendo la adopción de energías renovables, electrificación del consumo y mejoras en la eficiencia energética. Se llevaron a cabo análisis detallados de costos y beneficios, considerando aspectos ambientales y de bienestar social, como la reducción de contaminantes atmosféricos, mortalidad prematura y morbilidad. Los resultados principales mostraron que las políticas de mitigación de emisiones generaron beneficios económicos y ambientales significativos en todos los sectores, con una relación beneficio/costo que variaba entre 1,14 y 7,79. Se destacó la eficacia de la adopción de energías renovables y estrategias de movilidad eléctrica, así como mejoras en la eficiencia energética en el sector residencial, como medios rentables y sostenibles para la descarbonización.

Shih & Tseng (2014) lleva a cabo un análisis costo-beneficio para demostrar la viabilidad económica de las Directrices de Política Energética Sostenible para la mitigación del cambio climático en China. El estudio utiliza la evaluación de beneficios colaterales del ciclo de vida y un enfoque de dinámica de sistemas para evaluar las emisiones del ciclo de vida de los gases de efecto invernadero (GEI) y los contaminantes atmosféricos asociados con la generación de electricidad, predecir cambios en los costos unitarios de las tecnologías de generación de electricidad, modelar la evolución de los precios de la electricidad y el ahorro de electricidad con un enfoque dinámico, y estimar las reducciones de GEI y contaminantes del aire, así como evaluar los beneficios colaterales de una menor exposición a los contaminantes del aire. Se implementó un modelo llamado Air Resource Co-benefits (ARCOB) para

evaluar los beneficios colaterales de la mejora tanto de las energías renovables como de la eficiencia energética durante el período 2010-2030. Los principales resultados incluyen la predicción de muertes prematuras evitadas, el ahorro de energía y la comparación de los beneficios sociales de promover energías renovables frente a mejoras en la eficiencia energética. Los resultados sugieren que los beneficios externos superan significativamente los costos de cumplimiento o inversión para ambas estrategias, lo que respalda la promoción de energía limpia y ahorro de energía en una política energética sostenible.

Mandilas et al (2023) recopila y evalúa datos sobre si las empresas de energía renovable en Grecia divulgan información no financiera de acuerdo con los estándares globales e internacionales y en qué medida. La energía renovable ha crecido rápidamente en los últimos 20 años como aspecto clave de la transición hacia un sistema energético más sostenible y que consuma menos energía. Sin embargo, la competencia constante entre empresas, las finanzas, los impuestos, la política y otros factores han creado en muchos casos situaciones perjudiciales para el medio ambiente.

Kumar et al. (2023) convierten los tallos de gandul en biocarbón para que puedan servir como sustituto del combustible y enmienda del suelo para secuestrar carbono. Se emplearon diferentes métodos de pirólisis para investigar las variaciones en el rendimiento, las características fisicoquímicas y el mayor poder calorífico (HHV) del biocarbón producido a partir de tallos de gandul. El biocarbón producido mediante un horno de mufla presentó un mayor contenido de carbono fijo y cenizas. Estas características lo hacen beneficioso para restaurar suelos agrícolas degradados al mejorar el secuestro de carbono.

Bathaei (2023) emplea las metodologías SALSA (búsqueda, evaluación, síntesis y análisis) y PRISMA (elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis) dentro del protocolo PRISMA. Este estudio extrae 84 indicadores de 420 artículos a través de SCOPUS. Estos indicadores abarcan dimensiones sociales, ambientales, económicas, institucionales y técnicas. El estudio perfecciona estos indicadores en función de su importancia e influencia, ofreciendo una perspectiva enriquecida. Además, el análisis clasifica los artículos por año de publicación, continente y tema, proporcionando información a las partes interesadas, formuladores de políticas e investigadores. Al garantizar actualizaciones periódicas de los indicadores, esta investigación promueve la agricultura sostenible, informa áreas prioritarias y orienta decisiones estratégicas. Esto contribuye a la resiliencia global y las aspiraciones de seguridad alimentaria en un mundo cambiante. El futuro de la energía renovable y la agricultura sostenible implicará tecnologías de vanguardia y marcos políticos refinados.

Según Wang (2023), la planificación racional y el uso de energías renovables son medios eficaces para reducir las emisiones de carbono urbanas. En vista de los pocos

casos de planificación de energías renovables urbanas y los métodos poco claros, el documento toma el proyecto de planificación de energías renovables chino-singapurense Tianjin Eco-City como un caso para proporcionar un método de planificación de energías renovables bajo la guía de restricciones de carbono.

Arjan (2018) analiza los costos y beneficios sociales de los proyectos de almacenamiento de energía eléctrica (EES) a escala de red en Gran Bretaña, utilizando como caso de estudio el proyecto Smarter Network Storage, una batería de litio de 6 MW/10 MWh colocada en la subestación primaria Leighton Buzzard para satisfacer los crecientes requisitos de demanda máxima local. La metodología combina una simulación de Monte Carlo con el análisis de costo-beneficio social para determinar la combinación realista de beneficios y costos sociales a lo largo del ciclo de vida útil de la batería. El riesgo y la incertidumbre de los flujos de beneficios, los elementos de costo, la vida útil de la batería y la tasa de descuento se incorporan en la simulación de Monte Carlo. Los resultados analizan los beneficios tanto de ubicación como de todo el sistema de los EES a escala de red, determina la combinación realista de esos beneficios sociales y los yuxtapone con los costos sociales a lo largo del ciclo de vida útil de la batería para determinar el desempeño tecnoeconómico. El marco de análisis de costo-beneficio social responde a las reformas del mercado eléctrico para lograr una red baja en carbono. El estudio concluye que la futura disminución de costos impulsa el bienestar social de las inversiones en almacenamiento a escala de red.

Abhinav et al. (2022) analiza los costos y beneficios asociados al desmantelamiento y reutilización de centrales eléctricas de carbón en la India; así como identifica la opción más viable financieramente para la transición energética del país. Respecto a la metodología, utiliza técnicas de flujo de efectivo descontado (DCF) para determinar el valor presente (PV) de los beneficios netos de la reutilización de plantas de carbón para cada una de las tres opciones de reutilización. Los costos y beneficios se clasifican en directos o indirectos, e incluye una lista de criterios utilizados para identificar plantas adecuadas para su reutilización. El análisis también incluye un análisis de sensibilidad para determinar cómo los factores cruciales influyen en los costos. Los resultados muestran que los beneficios netos actuales de las tres opciones de reutilización superan los costos, siendo la opción más viable financieramente la reutilización de una planta para generación de energía renovable. También destaca la importancia de considerar los beneficios sociales indirectos, como las emisiones de carbono evitadas, al tomar decisiones sobre la reutilización de las plantas de carbón. El valor actual de los beneficios sociales del desmantelamiento es mucho mayor que los costos indirectos correspondientes.

Klein et al. (2021) compara múltiples métricas financieras para diferentes modelos financieros de granjas solares comunitarias en diferentes escalas, participación de las partes interesadas, geografías y políticas. Tuvo como objetivo identificar los

modelos que podrían ser accesibles para los suscriptores residenciales sin subsidios para personas de bajos ingresos. La metodología analizó casos de negocios solares comunitarios preparados por el Proyecto Solar Comunitario del Condado de Cook en 15 ubicaciones del área de Chicago en 2017. Finalmente, los resultados señalan que los incentivos federales actualizados, incluido un crédito fiscal a la inversión más bajo y una base impositiva más baja para el Sistema Modificado de Recuperación Acelerada de Costos para la depreciación, aplicados junto con dos correcciones de errores clave, hicieron que muchos de los 26 modelos financieros fueran inaccesibles para los suscriptores residenciales, sin subsidios para los bajos ingresos. El estudio también encontró que a los suscriptores en Illinois les fue mejor en proyectos más pequeños que en los más grandes.

Conclusiones

En conclusión, la investigación respalda de manera contundente la necesidad imperante de avanzar hacia una transición energética sustentable, donde las energías renovables desempeñan un papel central en la creación de un futuro más limpio y sostenible. Al eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero y ofrecer una fuente inagotable de energía, estas tecnologías no solo abordan directamente la crisis climática, sino que también brindan la oportunidad de replantear y transformar nuestros sistemas energéticos hacia modelos más eficientes y respetuosos con el entorno.

En este camino hacia la sostenibilidad, es esencial fomentar la colaboración global, la inversión en investigación y desarrollo, y la adopción de políticas que promuevan activamente el uso de energías renovables. La transición hacia un futuro energético más sostenible no solo es una necesidad urgente, sino también una oportunidad para forjar un legado positivo para las generaciones futuras, donde la armonía entre el progreso humano y la preservación ambiental se convierte en la piedra angular de nuestro enfoque hacia la energía.

Referencias

- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). *On the Relationship Between Energy and GNP*, 3(2), 401-403.
- Abhinav Jindal, Gireesh Shrimali (2022). *Cost-benefit analysis of coal plant repurposing in developing countries: A case study of India*
- Ahmadian, Sedghi, Mohammadi-ivatloo, Elkamel, Golkar, & Fowler (2017) en su investigación “Cost-benefit analysis of V2G implementation in distribution networks considering PEVs battery degradation. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(2), 961-970. Cost-Benefit Analysis of V2G Implementation in Distribution Networks Considering PEVs Battery Degradation”.
- Astiaso, Cumo, Tiberi, Sforzini, & Piras (2016) en su investigación *Cost-Benefit Analysis for Energy Management in Public Buildings: Four Italian Case Studies*.
- Arjan S. Sidhua, Michael G. Pollittb, Karim L. Anaya (2018). *A social cost benefit analysis of grid-scale electrical energy storage projects: A case study*
- Bathaei, A., & Štreimikienė, D. (2023). Renewable Energy and Sustainable Agriculture: Review of Indicators. *Sustainability*, 15(19), 14307.
- BID. (2014). *Beneficios para la sociedad de la adopción de fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/en/publication/13751/beneficios-para-la-sociedad-de-la-adopcion-de-fuentes-renovables-de-energia-en>
- BID. (05 de Octubre de 2023). ¿Cuáles son algunas de las principales barreras para los programas de eficiencia energética en el sector eléctrico en América Latina? <https://blogs.iadb.org/energia/es/cuales-son-algunas-de-las-principales-barreras-para-los-programas-de-eficiencia-energetica-en-el-sector-electrico-en-america-latina/>
- Conahcyt. (04 de Octubre de 2023). *EL PAPEL DE LAS FUENTES DE ENERGÍA EN UNA TRANSICIÓN SOCIAL Y AMBIENTALMENTE SUSTENTABLE*. <https://conahcyt.mx/el-papel-de-las-fuentes-de-energia-en-una-transicion-social-y-ambientalmente-sustentable/>
- Elisabetta Venezia (2023) “Cost-Benefit Analysis in High-Speed Railway Projects: Appraisal of Methodological Approaches and an Initial Social Equity Evaluation, A Case Study”
- Enel. (04 de Octubre de 2023). ¿Cuáles son los beneficios de la energía renovable? <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/cuales-son-los-beneficios-de-la-energia-renovable.html>
- Energías renovables: energías para un futuro más seguro | Naciones Unidas*. (s.f.). Retrieved 5 de October de 2023, from the United Nations: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- ENERGY5 Your Way. (05 de Octubre de 2023). *La creciente importancia de las energías renovables en la industria de extracción de recursos*. <https://energy5.com/es/la-creciente-importancia-de-las-energ%C3%ADas-renovables-en-la-industria-de-extracci%C3%B3n-de-recursos>

- Gudlaugsson, Ahmed, Dawood, Ogwumike, Short y Dawood (2023) en su investigación “Cost and environmental benefit analysis: An assessment of renewable energy integration and smart solution technologies in the InteGRIDy project”.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2012). *RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION*. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf
- International Renewable Energy Agency - IRENA. (2022). *World Energy Transitions*. <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>
- International Renewable Energy Agency - IRENA. (05 de Octubre de 2023). *Renewables are the key to a climate-safe world*. <https://www.irena.org/news/articles/2018/Nov/Renewables-are-the-key-to-a-climate-safe-world>
- International Renewable Energy Agency - IRENA. (2023). *WORLD ENERGY TRANSITIONS OUTLOOK 2023*. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_v1_2023.pdf?rev=cc4522ff897a4e26a47906447c74bca6
- Kumar, N. V., Sawargaonkar, G. L., Rani, C. S., Singh, A., Prakash, T. R., Triveni, S., Kamdi, P. J., Pasumarthi, R., Karthik, R., & Venkatesh, B. (2023). Comparative analysis of pigeonpea stalk biochar characteristics and energy use under different biochar production methods. *Sustainability*, 15(19), 14394.
- Magazzino, C. (2015). Energy Consumption and GDP in Italy: Cointegration and Causality Analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 17, 137-153. <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9543-8>
- Majid, M., & Kumar, C. (2020). Renewable energy for sustainable development in India: current status, future prospects, challenges, employment, and investment opportunities. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1-36.
- Mathioulakis, E., Panaras, G., & Belessiotis, V. (2013). Cost-benefit analysis of renewable energy systems under uncertainties. 16th International Congress of Metrology. *National Center for Scientific Research*. <https://doi.org/10.1051/metrology/201309002>
- Ministerio del Ambiente. (05 de Octubre de 2023). *Estiman que incremento del uso de energías renovables representará beneficio de \$ 17 200 millones al país hacia el año 2050*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/301109-estiman-que-incremento-del-uso-de-energias-renovables-representara-beneficio-de-17-200-millones-al-pais-hacia-el-ano-2050>
- Ortiz Tocora, J. (2020). *Barreras corporativas a la adopción de energías limpias en Colombia*.
- Mandilas, A., Kourtidis, D., Florou, G., & Valsamidis, S. (2023). A framework for sustainability reporting of renewable energy companies in Greece. *Sustainability*, 15(19), 14360.

- Parissis, Zoulias, Stamatakis, Sioulas, Alves, Martins & Zervos (2011) en su investigación “Integration of wind and hydrogen technologies in the power system of Corvo island, Azores: A cost-benefit analysis”.
- Royal Dutch Shell. (2014). *Resumen de Sustentabilidad 2014*.
- Sharon J.W. Klein, Abigayle Hargreaves, Stephanie Coffey (2021) *A financial benefit-cost analysis of different community solar approaches in the Northeastern US*
- Shih & Tseng (2014) en investigación *Cost-benefit analysis of sustainable energy development using life-cycle co-benefits assessment and the system dynamics approach*
- Sofia, Gioiella, Lotrecchiano & Giuliano (2020) en su publicación *Cost-benefit analysis to support decarbonization scenario for 2030: A case study in Italy*
- Tiba , S., & Omri, A. (2017). Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1129-1146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.113>
- United Nations. (05 de Octubre de 2023). *Renewable energy – powering a safer future*. <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- Waheed, R., Sarwarb, S., & Wei , C. (2019). The survey of economic growth, energy consumption and carbon emission. *Energy Reports*, 5, 1103-1115. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.07.006>
- Wang, Q., Sun, X., Wang, R. H., Zhou, L., Zhou, H., Di, Y., Li, Y., & Zhang, Q. (2023). Research on Urban Energy Sustainable Plan under the background of Low-Carbon Development. *Sustainability*, 15(19), 14206.
- Xiang, Y., Cai, H., Gu, C., & Shen, X. (2020). Cost-benefit analysis of integrated energy system planning considering demand response. *Energy*, 192, 116632. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116632>