

Revista:

# Sustainable Think

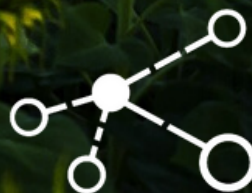
Edición: 1 | Noviembre, 2022

Ciencias Ambientales

## En esta edición:

Se ofrece un espacio clave para la exploración interdisciplinaria de los desafíos ambientales, se analiza y se discuten temas clave, como el cambio climático, la conservación de la biodiversidad, y la gestión sostenible de los recursos naturales.

[www.philoscience.com](http://www.philoscience.com)



**PHILOSCIENCE**

Lima, Perú

# Breve revisión del estado de las energías renovables en Latinoamérica y Colombia

## Brief review of the status of renewable energies in Colombia

Ramirez Garzon, Juan Sebastian  
Universidad Nacional de Colombia, Bogota D.C., Colombia  
Contacto: [jusramirezga@unal.edu.co](mailto:jusramirezga@unal.edu.co)

### Abstract

Subsequently to the signing of The Paris Agreement in 2015, subscribed nations began a decarbonization stage and, therefore, an energetic transition to renewable energy sources. The present work describes the part of renewable energies in Latinamerica emphasizing in Colombia, considering social, economic, and environmental implications. Then, this article includes notions related to energy production like different types of renewable energy and the implementation of hydrogen as fuel resource. The bibliographic review found that although in Latinamerica there is a relatively clean energy grid, it requires diversification, avoiding the dependence on a so unstable source like hydroelectric power, the most important energetic source in the region. Moreover, promoting off-grid projects and working with communities inclusively and sustainably to end energy poverty in the current decade within the framework of the 2030 Agenda.

**Keywords:** Decarbonization, climate change, renewable energies, diversification, sustainable development.

### Resumen

A partir de la firma del acuerdo de París en 2015, muchos países iniciaron una fase de descarbonización y, por lo tanto, una transición energética a fuentes renovables. El presente trabajo realiza una descripción del rol de las energías renovables en Latinoamérica con énfasis en el marco colombiano, considerando implicaciones a nivel social, económico y ambiental. Se abarcan, entonces, conceptos relacionados con la producción energética como los diferentes tipos de energías renovables y el uso de hidrógeno verde como combustible. La revisión bibliográfica indica que si bien en Latinoamérica se cuenta con una malla energética relativamente limpia, es necesario promover su diversificación y evitar la dependencia de una fuente tan inestable en el futuro cercano como lo es la energía hidroeléctrica, la cual tiene mayor preponderancia en la región. Además, se deben promover proyectos off-grid y trabajar con comunidades de forma inclusiva y sostenible para acabar con la pobreza energética antes del 2030.

**Palabras clave:** descarbonización, cambio climático, energías renovables, diversificación, desarrollo sostenible.

### 1. Introducción

Los avances tecnológicos requieren un alto suministro energético proporcionado principalmente por la quema de combustibles fósiles. Producto de esto, se manifiesta el calentamiento global debido a la acción de los gases efecto invernadero. Alarmanentes consecuencias

pueden ocurrir si no se toman medidas efectivas. En 2015 fueron 196 países los que firmaron el Acuerdo de París para limitar el calentamiento global a 1.5 °C como máximo, en comparación con los niveles preindustriales (1). Una de las medidas planteadas es la de llegar a cero emisiones netas de carbono para el 2050.



Esta descarbonización energética abarca eficiencia, electrificación del transporte, descentralización y una transición a la producción a partir de fuentes renovables (2). La implementación de energías renovables fomentando el acceso a la energía, la renovabilidad y eficiencia energética es lo busca el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7) en el marco de la Agenda 2030 (7). También es oportunidad de desarrollo económico y social para los países en vía de desarrollo debido a la creación de empleos, aumento del producto interno bruto, acceso a la energía, entre otros (3).

En mayo del 2017 se realizó el primer “Foro de los Países de América Latina y el Caribe para el Desarrollo Sustentable” en el cual se planificó mecanismos que aseguren un desarrollo sostenible (4); un par de años después, durante la Conferencia de las Naciones Unidas del 2019 diez países latinoamericanos se comprometieron con el objetivo regional de producir el 70 % de su electricidad a partir de energías renovables para el 2030 siendo anexados otros tres países en 2021 (5). Ejemplo de estrategias y planes de acción es el proyecto E2050 presentado por el gobierno colombiano en la COP26, entre cuyos objetivos se encuentran el desarrollo rural, la transición justa de la fuerza laboral, la diversificación de la matriz energética, y producción y consumo sostenible (6). Otros ejemplos son “Energía 2050”, plan de política energética de Chile, o el Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador (PLANEE).

El presente trabajo pretende describir del rol de las energías renovables en países en vías de desarrollo en Latinoamérica, particularmente en el contexto colombiano durante los últimos 20 años, considerando el estado de desarrollo, planes a futuro y proyectos desde pequeña a gran escala, identificando las implicaciones de estas a nivel social, económico y ambiental.

## 2. Energía y Cambio Climático

Dado que la energía es fundamental para abordar casi cualquier reto y oportunidad de un país (7), el crecimiento económico está directamente relacionado con un aumento del consumo energético (8). Sin embargo, el modelo imperado durante los últimos dos siglos se basa en la quema de combustibles fósiles: petróleo, carbón o gas (9); y es el mayor contribuyente a la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (7,9). Estos patrones de producción y consumo energético no son sostenibles (9), se caracterizan por generar deterioro en los ecosistemas, ser recursos limitados y tener precios inestables (lo

cual representa, a su vez, inestabilidad política, institucional y social para países productores y exportadores que dependen de dichos recursos) repercutiendo en las condiciones de vida (10).

El incremento repercute en variaciones regionales de las precipitaciones, aumento del nivel del mar, acidificación de océanos e incremento de eventos climáticos extremos; afectando al ambiente, biodiversidad, bienestar humano y cadena de suministro energético. Puesto que los países requerirán un aumento en el suministro energético para sostener la demanda y estando en un contexto de cambio climático (11), se hace relevante el concepto de seguridad energética. Si bien podría definirse como la garantía en la disponibilidad de combustibles y electricidad a precios accesibles, debido a la multidimensionalidad del concepto no hay definición única; las diversas perspectivas (política, económica, natural e ingenieril) generan distintas formas de abordarse. Sin embargo, todos los modelos requieren de un proceder simultáneo frente a los retos que presenta (18).

## 3. Tipos de Energía Renovable

Si bien toda tecnología conlleva impactos ambientales (11), el concepto de energía renovable destaca debido a que son inagotables o se renuevan rápidamente, producen menores daños ambientales y contribuyen a la sustentabilidad del desarrollo (10). Esta energía se puede producir de distintas formas:

*Energía solar*: la de mayor potencial para proveer electricidad de forma limpia, segura y confiable (12); se obtiene por medio de la captación de la radiación solar para su uso como energía térmica o eléctrica (13), dividiéndose en:

- *Energía solar fotovoltaica*: Las celdas fotovoltaicas son dispositivos semiconductores que convierten la energía solar en electricidad de corriente directa (12). Al entrar en contacto con la radiación solar liberan electrones y dan paso a la producción de electricidad, siendo proporcional a la cantidad de celdas y material: silicio monocristalino, policristalino o amorfo (13). Un grupo de celdas forman un módulo fotovoltaico cuya combinación con reguladores de carga, baterías, inversores y cableado conforman un sistema fotovoltaico (13); los “off-grid” son aquellos que no se encuentran conectados a la malla eléctrica regional y “on-grid”, aquellos que sí (14).

- *Energía solar térmica*: Consiste en la transferencia de energía térmica proveniente del sol a algún fluido que puede ser agua o aire para su posterior

uso, como por ejemplo destiladores, hornos y cocinas solares (13). En (14) se describe la “energía solar concentrada” en la que se concentran los rayos del sol en un punto específico para calentar un fluido y posteriormente generar electricidad, por lo que podría ser considerada como un tipo de energía solar térmica; sin embargo, el autor las plantea como distintas una de la otra.

- *Energía solar pasiva*: aprovechamiento de las cualidades lumínicas y calóricas de la radiación para ser aprovechadas en el hábitat humano, siendo generalmente incorporada en las construcciones diseñadas bajo los conceptos de arquitectura bioclimática (13).

*Energía eólica*: Se basa en el movimiento del viento a través de las aspas de las turbinas que es convertido en energía mecánica y luego alimentada a un generador eléctrico; a mayores velocidades de viento mayor producción de energía, siendo 13 km/h la velocidad mínima para su funcionamiento y 22 km/h la media óptima (12). Sin embargo, hay que tener en cuenta varios factores en la producción de energía eólica, como por ejemplo la captura energética por parte de las turbinas, que puede ser entre 40 y 50 % (14); la localización de las turbinas, dado que la altura y topografía de donde sean instaladas tendrá repercusiones en la cantidad de viento que corre a través de estas (12). Las turbinas pueden instalarse tanto on-shore como off-shore, aprovechando las corrientes de aire que se dan en el continente o mar, respectivamente (14).

*Energía geotérmica*: Es una forma eficiente y efectiva de extraer energía renovable de la Tierra (14), particularmente del calor producido (12). Es escalable, según su fin, si proveer calor a una edificación por medio de una bomba de calor o generar electricidad a gran escala a través de una planta geotérmica (14). Un factor favorable es la facilidad de usar tecnologías implementadas en plantas térmicas tradicionales con leves diferencias: las turbinas de generación son puestas en movimiento a partir de vapor encontrado en pozos con reservorios de agua caliente y producidos por la Tierra, en vez de la quema de combustibles fósiles (15).

*Energía marina*: Puede ser clasificada por oleaje, rango mareal, corrientes mareales, corrientes oceánicas, gradientes de salinidad y energía térmica oceánica. La mayoría de las tecnologías para su aprovechamiento se encuentran en desarrollo (14). Por su parte, la captación de la energía proveniente de las mareas es por medio de barreras mareales, dispositivos anclados que, a

partir del movimiento del agua y aire comprimido en su interior, permiten la generación de electricidad a partir de una turbina (12). Se calcula que el correcto aprovechamiento de los recursos energéticos marinos renovables podría suplir toda la demanda energética actual y futura (14).

*Energía hidroeléctrica*: Consiste en aprovechar la energía potencial gravitatoria de los saltos de agua para la generación de electricidad mediante el uso de turbinas (13,14). Si bien hay distintas formas de recolectar esta energía, como bien lo explica (14), la más común es mediante represas. Estas son conocidas como aprovechamiento de acumulación, mientras que aquellos en los que el agua fluye se denominan de paso (13). La energía hidroeléctrica es una fuente de electricidad extremadamente flexible y eficiente, aproximadamente 90 % debido a su conversión energética directa (14). Además, puede darse a menor escala como “Pequeño Aprovechamiento Hidroeléctrico” (13), pequeñas centrales hidroeléctricas que abastecen de energía tanto a una red pública como a una pequeña vivienda o establecimiento rural sin la red eléctrica.

*Biomasa*: Es el suministro agrícola más importante para la producción de energía (12). Se convierte la materia orgánica como plantas, árboles y cultivos en formas energéticas útiles como calor, electricidad y biocombustibles (14); se considera materia orgánica renovable debido a que las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante su aprovechamiento energético son las mismas a las obtenidas de la atmósfera para su generación (13).

## 4. Impactos Ambientales e Hidrogeno Verde

Las energías renovables pueden tener impactos ambientales a nivel local y deben mitigarse en la planeación de los proyectos. Por ejemplo, las turbinas de energía eólica pueden poner en riesgo las aves de la zona; ciertas instalaciones de energía solar pueden ser peligrosas para algunos animales terrestres; la producción de energía geotérmica y de celdas solares pueden liberar sustancias químicas nocivas para la salud; dependiendo de la materia prima que se use, la energía por biomasa puede afectar la salud y biodiversidad del suelo; centrales hidroeléctricas muy grandes pueden inundar amplias zonas, afectando a la biodiversidad y comunidades cercanas (11). Por tanto, es necesario que existan regulaciones y buen control gubernamental para evitar dichas afectaciones, algunas de las cuales pueden ser originadas por negligencia de quienes llevan a cabo los proyectos.

Por otro lado, se habla también del uso del

hidrógeno como combustible, es posible generar hidrógeno a partir de todas las fuentes primarias de energía (9). El 96 % de este se produce a partir de combustibles fósiles y el restante por medio de energía renovable (16). Este último es conocido como “hidrógeno verde” y se produce por medio de la hidrólisis, proceso mediante el cual se pasa electricidad a través del agua en un dispositivo de transferencia iónica con el fin de separar el hidrógeno del oxígeno que componen dicha agua. Hacerlo por medio de energías renovables permitiría una producción limpia, sin emisión de gases de efecto invernadero (9).

## **5. Matriz Energética**

### **5.1. Latinoamérica**

Representada en el amplio uso de energía hidroeléctrica, biocombustibles y gas natural; sin embargo, los países aún dependen de los combustibles fósiles (16). La energía hidroeléctrica es históricamente una importante fuente: para 2014 las energías renovables representaban el 56 % de la matriz energética, siendo hidroeléctrica el 47 % (casi 84 % de las renovables) comparado al 25 % promedio global (siendo 17 % hidroeléctrica); en Colombia o Brasil provee alrededor del 70 % de la energía total (2, 3, 7).

Sin embargo la dependencia en energía hidroeléctrica la hace susceptible ante la disponibilidad y variabilidad de los recursos (2, 11, 17). Las variaciones regionales en las precipitaciones, incremento de las temperaturas y el deshielo de los glaciales andinos repercuten en el ritmo y volumen del flujo de los cuerpos hídricos. Por otro lado, la expansión del suministro se favoreció por incentivos fiscales, instrumentos regulatorios y mecanismos financieros, mejoras tecnológicas, disponibilidad de recursos y reducidos costos de financiamiento (16), tal como se observa en la Figura 1. Un ejemplo es el Costo Nivelado de Energía (LCOE por sus siglas en inglés) de la energía solar fotovoltaica, que desde el 2012 se redujo en un 12 %.

Entre 2007 y 2017, la capacidad instalada de la matriz energética de 27 países aumentó en un 50 % (16). Esto contrasta con Altomonte (8), afirmando que al 2003 era poco lo logrado en materia de fuentes renovables de energía y eficiencia energética, a pesar de que el tema tiene décadas de discusión en la política de algunos países. Entre las causantes esta la falta de disposición política y dificultad para lograr una posición competitiva en el mercado energético. Januzzi (17) expone un

cambio en la situación para 2015 cuando se invirtieron 16.4 billones de dólares en energías renovables, principalmente en Brasil, México y Chile (priorizando energía eólica y solar).

La eficiencia energética, medida en la proporción de pérdida eléctrica contra el suministro eléctrico, se calcula que en América Latina es de un 16 % de la producida, una cifra alta, comparando con los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) – 6 % (7). Esto podría ser explicado por la falta de coordinación institucional y monitoreo que ha impedido la implementación de programas de eficiencia a gran escala en Latinoamérica (17).

### **5.2. Colombia**

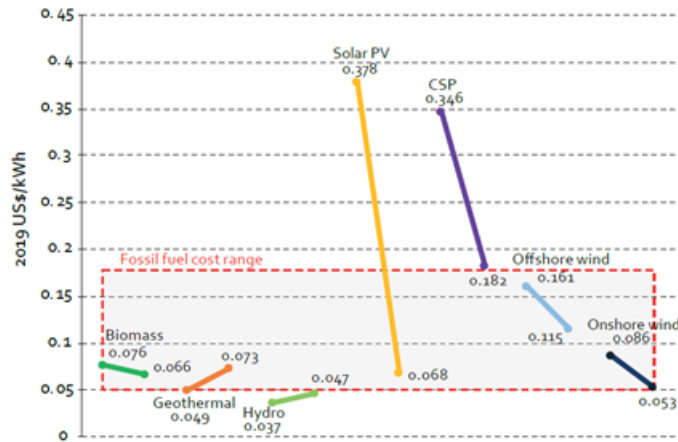
CENSAT Agua Viva afirma que la generación de energía eléctrica del Sistema de Interconexión Nacional se componía entre 2016 y 2018 en un 86.01 % por hidroeléctrica, 9.29 % gas, 3.6 % carbón, 0.02 % ACPM, y 0.01 % radiación solar (19); la Unidad de Planeación Minero Energética (15) indica que a diciembre de 2014 la capacidad total instalada era de 15.645 MW de los cuales las hidroeléctricas producían la mayor parte (70.4 %) principalmente las de más de 20 MW de producción (66.6 %) seguida por plantas térmicas fósiles (29.1 %) y plantas cogeneración biomasa y eólicas (0.5 % y 0.1 %, respectivamente). Las cifras de capacidad instalada fueron menores: 9.979 MW para 2012 y 12.553 MW al finalizar el 2021, indicando un crecimiento del 25 % (20).

## **6. Complementariedad y Diversificación**

### **6.1. Latinoamérica**

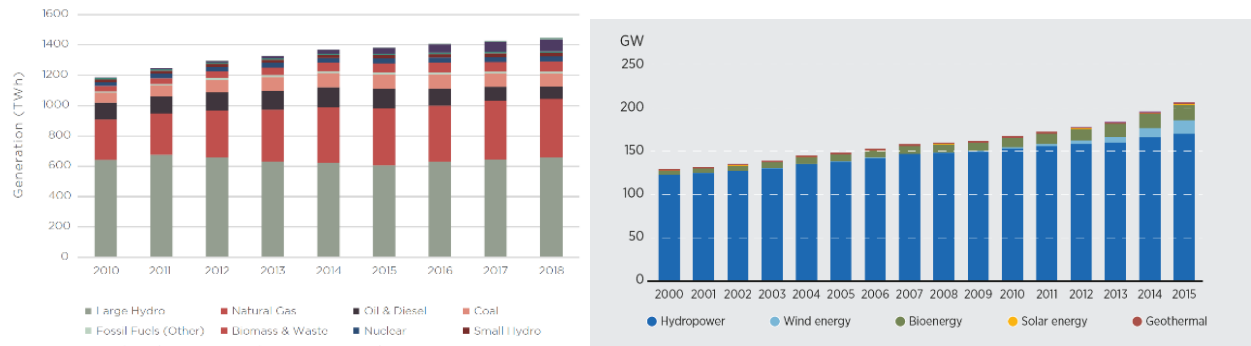
La complementariedad de energías renovables permitirá mitigar variabilidades de generación eléctrica tanto a nivel diario como temporal. La tendencia regional está encaminada al crecimiento en fuentes renovables diferentes a la hidroeléctrica. Entre 2006 y 2015 se triplicaron, haciendo que el porcentaje hidroeléctrico disminuyera en comparación con estas (pasó de representar el 95 % de la matriz energética en 2000 a 83 % en 2015) (3); según la Agencia Internacional de la Energía el cambio fue de 95 % en 2011 a 73 % en 2014. Las energías renovables que más crecieron son la bioenergía y la eólica continental (Figura 2). Si lo abordamos por tipo de energía renovable podemos mencionar que la eólica tuvo su mayor crecimiento en Brasil; la fotovoltaica (si bien se mantiene en pequeña proporción) ha crecido en Uruguay, Chile, Perú y México; la geotérmica se mantuvo estable y

**Figura 1.** Costo nivelado promedio ponderado mundial de la electricidad a partir de tecnologías de energía renovable a gran escala en 2010 y 2019.



**Nota.** Tomado del trabajo de Grottera (16).

**Figura 2.** Izquierda: Generación de energía (TWh) por tecnología; Derecha: Capacidad de energías renovables instalada en América Latina entre 2000 y 2015



**Nota.** Izquierda: tomado del trabajo de Graham, Malagón, Viscidi y Yépez-García (2); Derecha: tomado del trabajo de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) (3).

se presenta principalmente en México, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua.

El objetivo del programa Energía Renovable para Todos (SE4ALL) busca acabar con la pobreza energética para 2030 (11); La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (citando al Banco Mundial) informa que en el contexto latinoamericano aún hay entre 14 a 18 millones de personas sin acceso a la electricidad siendo 13 % de pueblos indígenas. Brindarle acceso a la energía provee inclusión financiera a las comunidades, o sea oportunidades para costear la energía y luchar contra la pobreza (17).

La descentralización energética garantiza el acceso a la energía y descarbonización de la economía (16). Ello consiste en instalar cerca o directamente sistemas energéticos en los centros de consumo. Se trabaja “micro redes” para regiones remotas con una combinación de tecnologías renovables. El uso

de distintas fuentes de energía permite mayor confiabilidad y menos costos con respecto a sistemas tradicionales (11, 16). Los fotovoltaicos son buena opción para comunidades aisladas en la Amazonía, considerando sus bajos costos y beneficios para la comunidad (16). En 2015 ya 18 países de la región tenían políticas, programas y proyectos para zonas rurales (3), algunos ejemplos: el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales - Argentina; el Programa Masivo Fotovoltaico - Perú y el Programa de Electrificación Rural en Lugares Aislados - Honduras.

Proyectos off-grid se llevaron a cabo para promover el turismo comunitario: comunidad de San José de Uchupiamonas, una comunidad indígena de Bolivia que dispuso la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el albergue Ecológico Chalachán, y el de Isla Fuerte, departamento de Bolívar en Colombia, donde una comunidad predominantemente afrocolombiana y

raizal puso en marcha un parque de generación híbrido Solar - Diésel que permite el funcionamiento del puesto de salud, la escuela y el centro de acopio a partir de los sistemas fotovoltaicos (10).

El desarrollo de 21GW a partir de fuentes renovables llevaría a México, según proyecciones, a un crecimiento de 27 millones de dólares en su PIB y la creación de 134.000 empleos. A nivel global podría proveer de empleo a más 24 millones de personas para el 2030. Al 2015 eran aproximadamente 1 millón de empleos en la rama de los biocombustibles en Latinoamérica; se presumen que en ese momento las grandes hidroeléctricas eran responsables por 566.000 empleos y la producción eólica de 64.000 empleos; esto conlleva a que fuera aproximadamente 2 millones de empleos creados por el sector de energías renovables (3).

## 6.2. Colombia

Los recursos solares y eólicos complementarían al sector hidroeléctrico durante la temporada seca y las correspondientes a las oscilantes de El Niño, en tanto hay una asociación negativa entre la disponibilidad de agua y la presencia de sol y vientos: cuando disminuye la oferta del recurso hídrico, aumenta la solar y eólica, y viceversa. Cabe aclarar que esta complementariedad puede variar a lo largo del año (21).

El Gobierno de Colombia en el Plan Energético Nacional (PEN) (22) busca añadir 19 GW entre 2020 y 2050 a partir de fuentes renovables de energía. Para esto trazaron diversas hojas de ruta, como la del hidrógeno verde y la de energía eólica

costa afuera. Considerando que la energía hidroeléctrica es la de mayor preponderancia, los mayores proyectos son la Central Hidroeléctrica del Guavio, el Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, Hidrosogamoso o Hidroituango.

Sin embargo, se encuentran otros proyectos en desarrollo (Figura 3). GreenYellow está desarrollando alrededor de 100 MW para generación utility scale, siendo los dos primeros proyectos: Caimán Cienaguero y Badel; proyectos fotovoltaicos en los departamentos de Magdalena y Bolívar. Por su parte, el Grupo Ecopetrol cuenta con dos parques solares en los Llanos Orientales, suman un total de 82 MW de capacidad y hacen parte de la meta de un incremento de 400 MW en la capacidad de autogeneración con energías renovables a 2023 (23).

Por otro lado, para 2020 eran 425 iniciativas de energías renovables las inscritas en el listado de la UPME, de los cuales “131 proyectos corresponden a infraestructuras menores a 30 MW, la mayoría solar, y corresponden a instalaciones en techos de fábricas o industrias, casas o fincas campestres, y viviendas rurales localizadas en zonas no interconectadas (ZNI)” (24). El 52 % del territorio colombiano no está conectado a la matriz energética, debido al difícil acceso y/o condiciones remotas, haciendo que 2 millones de personas se encuentren en condiciones de vulnerabilidad y pobreza (25).

En el marco de una transición energética se crea la posibilidad de que diversos colectivos, tales como movimientos sociales, comunidades campesinas, barriales, entre otros, tomen parte activa en la generación de energía dentro de lo que se podría

**Figura 3.** Nuevos proyectos de energías renovables en Colombia – Artículo de la República (NOTICIA LR).



denominar un “modelo energético popular”, haciendo posible la producción y gestión de la propia energía (19). Estas energías comunitarias servirían no solo para el sostenimiento social, sino para la mejora de las condiciones ambientales y dando paso a una transformación de fondo en el modelo energético, un hecho que va más allá de solo cambiar el modo de producir energía.

## 7. Conclusiones

Si bien los países latinoamericanos se caracterizan por poseer una matriz energética relativamente limpia, esta depende en gran medida del recurso hídrico, por lo que presenta una alta vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. Por esto es importante el énfasis en la diversificación y complementariedad de las energías renovables dentro de la matriz energética en los planes y proyectos de cada país. Asimismo, se hace relevante la inclusión de comunidades en la transición energética no solo con el fin de terminar con la pobreza energética, sino en búsqueda de un desarrollo sostenible.

A modo de recomendación, las futuras investigaciones deben considerar principalmente el Acuerdo de París. Asimismo, se propone temas de investigación como la realidad de las energías renovables y sus proyecciones en condiciones y contextos coyunturales recientes como el escenario de pos-pandemia y el conflicto ruso-ucraniano, el papel de la cooperación regional en las energías renovables para garantizar el suministro energético en Latinoamérica y repercusiones negativas que pueden generar los proyectos de energías renovables, puesto que mayoría de trabajos se trata de manera superficial.

## Bibliografía

1. El Acuerdo de París [Internet]. Unfccc.int. [citado el 18 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris.0>
2. Graham N, Malagón E, Viscidi L, Yépez-García A. State of Charge: Energy Storage in Latin America and the Caribbean [Internet]. IDB; 2021. DOI: 10.18235/0003246
3. IRENA. Renewable Energy Market Analysis: Latin America [Internet]. IRENA; 2016. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2016/Nov/Renewable-Energy-Market-Analysis-Latin-America>
4. Messina D, Contreras R. Sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe: reporte de los indicadores del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 [Internet]. CEPAL; 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11362/44686>
5. María P. Pablo-Romero, Antonio Sánchez-Braza, Manuel González-Pablo Romero. Renewable energy in Latin America [J]. AIMS Energy [Internet]. 2022;10(4):695-717. DOI: 10.3934/energy.2022033
6. Ministerio de Ambiente. Contexto E2050 Colombia [Internet]. E2050 Colombia. [citado el 19 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://e2050colombia.com/>
7. ECLAC. Energy in Latin America and the Caribbean: access, renewability and efficiency [Internet]. ECLAC; 2022. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47925/S2200272\\_en.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47925/S2200272_en.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
8. Altomonte H, Coviello M, Wolfgang L. Renewable energy and energy efficiency in Latin America and the Caribbean: constraints and prospects [Internet]. CEPAL; 2003. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6427/S039619\\_en.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6427/S039619_en.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
9. Ruiz A. La seguridad energética de América Latina y el Caribe en el contexto mundial [Internet]. CEPAL; 2007. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6327/S0700966\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6327/S0700966_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
10. Jiménez Castilla TI. Energías Renovables y Turismo Comunitario: Una apuesta conjunta para el desarrollo humano sostenible de las comunidades rurales. Energ. [Internet]. 1 de julio de 2014; 44:93-105. DOI: 10.15446/energética
11. Ochs A. Study on the development of the renewable energy market in Latin America and the Caribbean [Internet]. IDB; 2014. DOI: 10.13140/RG.2.1.2778.3280
12. Alrikabi NKMA. Renewable Energy Types. J Clean Energy Technol [Internet]. 2014;61-4. DOI: 10.7763/jocet.2014.v2.92



13. Secretaría de Estado de la Energía. Manual de Energías Renovables para Municipios y Comunas de la Provincia de Santa Fe. GSF [Internet]. S.f. Disponible en: <https://campuseducativo.santafe.edu.ar/wp-content/uploads/Manual-Educaci%C3%B3n-Energ%C3%A9tica.pdf>
14. Ellabban O, Abu-Rub H, Blaabjerg F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2014;39:748–64. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.113
15. UPME. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia [Internet]. Ministerio de Minas y Energía, FMAM, BID; 2015. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integración de Energías Renovables/INTEGRACION ENERGIA S RENOVANLES WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integración%20de%20Energías%20Renovables/INTEGRACION%20ENERGIA%20S%20RENOVANLES%20WEB.pdf)
16. Grottera C. Reducing emissions from the energy sector for a more resilient and low-carbon post-pandemic recovery in Latin America and the Caribbean [Internet]. ECLAC ;2022. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47868/S2100949\\_en.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47868/S2100949_en.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
17. Martino Jannuzzi GD. Energy efficiency and renewable energy in Latin America: Policies towards sustainable development. *J Int Area Stud* [Internet]. 2017;21(2):9–22. DOI: 10.18327/jias.2017.07.21.2.9
18. Padilla V. Seguridad energética: análisis y evaluación del caso de México [Internet]. CEPAL; 2018. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44366/S1801208\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44366/S1801208_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
19. Soler J. Energías Comunitarias: Oportunidades y Desafíos en Colombia [Internet]. CENSAT Agua Viva; 2021. Disponible en: <https://transiciones.info/wp-content/uploads/2021/06/LIBRO-ENERGIAS-COMUNITARIAS-compressed.pdf>
20. IRENA. Estadísticas de capacidad renovable 2022 [Internet]. IRENA; 2022. Disponible en: <https://irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022-ES>
21. Henao F, Viteri J, Rodríguez Y, Gómez J, Dyner I. Annual and interannual complementarities of renewable energy sources in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Resources* [Internet]. 2020;134(110318). DOI: 10.1016/j.rser.2020.110318
22. Ministerio de Minas y Energía. Plan Energético Nacional 2020-2050 Resumen Ejecutivo [Internet]. 2020. Disponible en: [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Resumen\\_Ejecutivo\\_PEN\\_2020\\_2050.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Resumen_Ejecutivo_PEN_2020_2050.pdf)
23. Higuera, JM. Conozca algunos de los proyectos que buscan avanzar en materia de energía limpia [Internet]. La Republica; 29 de marzo de 2022. [Consultado el 7 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/especiales/negocios-sostenibles/conozca-algunos-de-los-proyectos-que-buscan-avanzar-en-materia-de-energia-limpia-3332135>
24. López Suarez, A. Con 294 proyectos, Colombia transita a energías limpias [Internet]. Portafolio; 24 de septiembre de 2020 [Consultado el 7 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/con-294-proyectos-colombia-transita-a-energias-limpias-545001>
25. Viteri J, Henao F, Cherni J, Dyner I. Optimizing the insertion of renewable energy in the off-grid regions of Colombia. *Journal of Cleaner Production* [Internet]. 2019;235: 535-548 [Internet]. 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.327

## Digestión anaeróbica: generando energía y fertilizante para el desarrollo sostenible

Anaerobic digestion: generating energy and fertilizer for sustainable development

Álvarez Jairo

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Amazonas, Perú.

Contacto: Goctalap.10@gmail.com

### Abstract

Biogas is a renewable energy alternative that uses waste or organic material like agriculture and livestock residues to create gas, digestate, and biol with the potential to be used as energy generators and fertilizers for crops, being friendly to the environment. This study aimed to describe, through a review of the literature, concepts, importance, and uses of biogas and other by-products from the biodigester. The results demonstrate the best use of these products in the domestic and industrial sectors, thus reducing the carbon footprint left by most activities. At the national level, it is being implemented on a small scale by public and private entities, obtaining promising results, especially in the rural sector.

**Keywords:** biogas, biodigester, digestate, biol

### Resumen

El biogás es una alternativa de carácter energético renovable, que usa desechos o material orgánico como residuos de la agricultura y ganadería para crear gas, digestato y biol con potencial para ser empleados como generadores de energía, bioestimulantes y fertilizantes correspondientemente asegurando un desarrollo agrícola sostenible, siendo totalmente amigable con el ambiente. El objetivo del presente artículo es describir los principales componentes del proceso de digestión anaeróbica y el uso de sus subproductos en la agricultura. Los antecedentes demuestran el gran aprovechamiento de estos productos tanto en el sector doméstico e industrial, reduciendo así la huella de carbono de varias actividades como son los motores diésel y fertilizantes sintéticos. A nivel nacional se está implementando esta tecnología a pequeña escala por entidades públicas y privadas, obteniendo resultados prometedores e incentivando el desarrollo sostenible del sector Rural.

**Palabras clave:** biogás, biodigestor, digestato, biol

### 1. Introducción

El cambio climático y los esfuerzos por el mantenimiento de la seguridad energética tienen efectos en cascada sobre la creciente población mundial en términos de seguridad alimentaria, ambiente y sostenibilidad (1). El agotamiento de los combustibles fósiles y los cambios indeseables de las condiciones climáticas, el aumento de la contaminación del aire y el agua han llevado a la humanidad a explorar medios alternativos y sostenibles para satisfacer la creciente demanda energética (2). Uno de estos medios es el uso de fuentes de combustible renovables como los biocombustibles (3).

El biogás es un tipo de biocombustible generado a partir del proceso de digestión anaeróbica (DA) de la materia orgánica en medios naturales o dispositivos como los biodigestores. La DA es llevada a cabo por bacterias metanogénicas en condiciones de déficit de oxígeno, generando productos como el biogás y biodigestato, este último con gran potencial agrícola como biofertilizante por las concentraciones de nutrientes que almacena (4).

La DA es una oportunidad para el aprovechamiento de residuos orgánicos de sectores como la industria agropecuaria y

forestal (5). Actualmente, la producción de biogás tiene un papel indispensable en la transición hacia una economía circular de base biológica, siendo una forma versátil y tecnológicamente madura para extraer energía y nutrientes de residuos orgánicos de baja calidad (6).

Entonces sustentamos que nuestro país posee industria tanto agronómica, pecuaria, pesquera, etc. Cuyos residuos pueden ser procesados en plantas o biodigestores para la producción de biogás y biodigestatos generando ingresos por la comercialización de estos productos y añadiendo valor a su modelo de negocio por la reinserción de sus residuos a la cadena de valor (7).

El objetivo del presente artículo es describir los principales componentes del proceso de digestión anaeróbica y el uso de sus subproductos.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Biogás

Obtenido por la DA de material orgánico (8). El biogás es una mezcla de múltiples gases donde el más abundante es el metano (CH<sub>4</sub>), seguido del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y trazas de otros gases como nitrógeno (N), hidrogeno (H), Monóxido de carbono (CO) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) (9). El biogás tiene el potencial para ser empleado como combustible directo para producir movimiento mecánico, como en combinaciones

como unidades de calor y energía para generar electricidad (8).

### 2.2. Digestato

Se generan en dos estados, líquido y sólido (material fibroso). Son ricos en macronutrientes y micronutrientes para los suelos (Tabla 1) lo que conlleva a su aprovechamiento como fertilizantes agrícolas, favoreciendo una agricultura eficiente y orgánica (10). Aunque es un subproducto de la producción de biogás a partir del proceso de DA en las plantas de biogás, el hecho de que contenga considerables proporciones al amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en un estado más estable y asimilable que la materia orgánica le permite dispersarse y diseminarse con mayor rapidez y facilidad lo que hace un insumo muy útil para la agricultura (11).

### 2.3. Biodigestor

El biodigestor es el contenedor cerrado de manera hermética donde se deposita los residuos orgánicos de origen vegetal o animal, sus características buscan la optimización de las condiciones físicas y químicas para obtener la máxima actividad microbiana y, en consecuencia, las máximas tasas de conversión de sustrato (4). Estos sistemas son una alternativa económica y efectiva para la producción de biogás y fertilizantes en comunidades rurales de todo el mundo (12).

**Tabla 1.** Análisis de nutrientes del digestato sin ser escurrido del biol (10).

| Características        | Valor |
|------------------------|-------|
| pH                     | 7.83  |
| C.E. (d/S/m)           | 5.6   |
| Solidos totales (g/L)  | 4.96  |
| M.O. en Solución (g/L) | 1.9   |
| N total (mg/L)         | 364   |
| P total (mg/L)         | 73.24 |
| K total (mg/L)         | 810   |
| Ca total (mg/L)        | 159.5 |
| Mg total (mg/L)        | 147.5 |
| Na total (mg/L)        | 505   |
| Fe total (mg/L)        | 4.01  |
| Cu total (mg/L)        | 0.76  |
| Zn total (mg/L)        | 1.58  |
| Mn total (mg/L)        | 0.8   |
| B total (mg/L)         | 2.33  |

## 2.4. El uso de los productos de la Digestión Anaerobia

La producción de biogás se ha ido incrementando en los últimos años por el aumento de la demanda energética y la búsqueda de nuevos métodos eficientes y sostenibles (13). Respecto a la producción energética primaria, la producción de biogás en los últimos años corresponde a cerca de 114,000 barriles de petróleo que se podrían ahorrar y no destinarlo para producir electricidad (9). La reducción en el consumo de combustóleo y diésel obedeció a la alta disponibilidad de biogás en el mercado, debido al incremento de la inversión y el ingreso de nuevas empresas al sector de los biocombustibles (14).

El biogás puede ser empleado en diferentes aplicaciones que cubren los usos a nivel doméstico, comunitario e industrial. A nivel doméstico, el biogás presenta una eficiencia comparable con otro tipo de combustibles como el gas natural (14). El biol en la agricultura ha demostrado incrementar la productividad, pudiendo ser usado en conjunto con fertilizantes químicos para obtener mayores rendimientos mientras se reduce las cantidades de químicos y costos de producción (9,14,15). Como biofertilizante representa una fuente de ingresos adicionales para el sector agrícola y ganadero (7).

La producción de biogás y sus subproductos, además de los beneficios ya descritos, favorecen la reducción de las emisiones de metano provenientes de los residuos ganaderos y la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (15). Ambos aspectos importantes en el actual marco de cambio climático, donde el metano y el CO<sub>2</sub> son los gases de efecto invernadero más importantes.

## 3. Conclusiones

El biogás actúa como una alternativa amigable con el ambiente, ayudando a tratar los desechos generados por la actividad humana como la ganadería, agricultura intensiva y familiar. El uso de los biodigestores es útil para tratar estos desechos y transformarlos en energías renovables como el biogás. Al darles uso doméstico o industrial pueden generar energía eléctrica y térmica; los subproductos como el biol permiten fertilizar los cultivos, obteniendo mejores resultados en el rendimiento y sanidad de estos. No obstante, el digestato empleándolo como mejorador y recuperador de suelos degradados por actividades agrícolas.

## Bibliografía

1. Liu Y, Sim J, Hailemariam RH, Lee J, Rho H, Park KD, et al. Status and future trends of hollow fiber biogas separation membrane fabrication and modification techniques. *Chemosphere* [Internet]. 2022 May;134959. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134959
2. Scarlat N, Dallemand JF, Fahl F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy* [Internet]. 2018 Dec;129 (Part A):457–472. DOI: 10.1016/j.renene.2018.03.006
3. Fedeli M, Manenti F. Assessing process effectiveness with specific environmental and economic impact of heat, power & chemicals (HPC) option as future perspective in biogas. *Cleaner Chemical Engineering* [Internet]. 2022 Jun;2:100016. DOI: 10.1016/j.clce.2022.100016
4. Liebetrau J, Sträuber H, Kretzschmar J, Denysenko V, Nelles M. Anaerobic digestion. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* [Internet]. 2019 Jan 1. 166:281–299. DOI: 10.1007/10\_2016\_67
5. Plugge CM. Biogas. *Microbial Biotechnology* [Internet]. 2017 Sep 14;10(5):1128–1130. DOI: 10.1111/1751-7915.12854
6. Feiz R, Metson GS, Wretman J, Ammenberg J. Key factors for site-selection of biogas plants in Sweden. *Journal of Cleaner Production* [Internet]. 2022 Jun 20;354:131671. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131671
7. Olugbemide AD, Likozar B. Assessment of Liquid and Solid Digestates from Anaerobic Digestion of Rice Husk as Potential Biofertilizer and Nutrient Source for Microalgae Cultivation. *Processes* [Internet]. 2022 May 18;10(5):1007. DOI: 10.3390/pr10051007
8. Hewitt J, Holden M, Robinson BL, Jewitt S, Clifford MJ. Not quite cooking on gas: Understanding biogas plant failure and abandonment in Northern Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Internet]. 2022 Sep;165(112600). DOI: 10.1016/j.rser.2022.112600
9. Cepero L, Savran V, Blanco D, Díaz Piñón MR, Suárez J, Palacios A. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes* [Internet]. 2012 May 14;35(2). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000200009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200009)



10. Coaguila P, Bardales R, Zeballos O. Digestates from the production of biogas from cattle slurry in onion production in arid zones. *Scientia Agropecuaria*. 2019;10(1):119–124. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2019.01.13

11. Bongiovanni M, Silvana M. Uso como biofertilizante de digestato derivado de la generación de biogás. XXVI Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. 2018 May 15-18; Hotel Catalinas Park. Río Cuarto: Universidad Nacional de Río Cuarto; 2018 Mar.

12. Mahmudul HM, Rasul MG, Akbar D, Narayanan R, Mofijur M. A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system. *Science of the Total Environment* [Internet]. 2021 Jan 20;753:141920. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141920

13. Acosta M, Pasqualino J. Potencial de Uso de Biogás en Colombia. *Teknos Revista Científica* [Internet]. 2014 dic 10;14(2):27-33. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382641>

14. Angel Barrena Gurbillón M, Cubas Alarcón F, Gosgot Angeles W, María Ordinola Ramírez C, Rascón Barrios J. Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa* [Internet]. 2019;26(2):725–734. DOI: 10.22497/arnaldoa.262.26214

15. Linares-Gabriel A, López-Collado CJ, Tinoco - Alfaro CA, Velasco-Velasco J, López-Romero G. Aplicación de biol, fertilizante inorgánico y polímeros superabsorbentes en el crecimiento de heliconia (*Heliconia psittacorum* cv. Tropica). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 2017 Jan 1;23(1):35–48. DOI: 10.5154/r.rchsh.2016.02.004

## Energía eólica en San Juan de Marcona: desarrollo y situación actual

Wind energy in San Juan de Marcona: development and current situation

Mejía Calle, Norly Anthonella  
Universidad San Luis Gonzaga. Ica, Perú.  
Contacto: [norlyanthonella@gmail.com](mailto:norlyanthonella@gmail.com)

### Abstract

Wind energy is one of renewable energy sources with the greatest exploitation capacity on the coast of Peru. The district of San Juan de Marcona, located in the Ica region, is well known for its typical Paracas winds, making it an ideal candidate for investment in wind energy. With the approval of D.L. N° 1002 "Promotion of the investment for the generation of electricity with the use of renewable energies", this district became a pillar place for wind energy production. To date, three of the five wind power plants nationwide are located in San Juan de Marcona in current operation: "Marcona Wind Farm", "Three Sisters Wind Farm" and "Wayra I Wind Farm". Its total annual production by 2021 was 1,248,928 MWh, making up 73.5% of the national participation in wind energy to the SEIN. Marcona and the Ica region in general have much more future potential, as evidenced by the projects presented at auction for this district and along the Ica region coastline.

**Keywords:** wind energy, renewable energy, development, Marcona, power generation

### Resumen

La energía eólica es una de energía renovable con más capacidad de explotación en la costa del Perú. El distrito de San Juan de Marcona, ubicado en la región de Ica, es conocido por sus típicos vientos Paracas, convirtiéndolo en candidato ideal para la inversión en energía eólica. Con la aprobación del D.L. N° 1002 "Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables", el distrito se convirtió en un lugar pilar para la producción de energía eólica. Hasta la actualidad, tres centrales eólicas de las cinco a nivel nacional se sitúan en San Juan de Marcona en funcionamiento: la "C.E. Marcona", "C.E. Tres Hermanas" y la "C.E. Wayra I". Su producción total anual al 2021 fue de 1 248 928 MWh, conformando el 73.5% de la participación nacional en energía eólica al SEIN. Marcona y la región de Ica en general cuentan con mucho más potencial a futuro, y se evidencia con los proyectos presentados en subastas para este distrito y a lo largo del litoral de la región Ica.

**Palabras clave:** energía eólica, energía renovable, desarrollo, Marcona, producción eléctrica

### 1. Introducción

En la actualidad existe preocupación creciente con respecto al cambio climático y sus efectos negativos debido a la dependencia en combustibles fósiles; es necesaria una transformación sostenible y eficiente en el modelo energético del Perú y mundo (1). La importancia del uso de energías renovables apuntan hacia menor consumo de recursos, contaminación y emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases

tóxicos. Algunas energías limpias constituyeron significativamente al uso de la energía por la humanidad desde tiempos remotos; en especial la biomasa, la solar, la hidráulica y la eólica (2). Esta última consiste en la transformación de la energía cinética del viento eléctrica a través de aerogeneradores cuyas hélices transmiten el movimiento producido por el viento en sus palas al rotor de un alternador (3).

En Perú aún persisten retos en materia energética a los cuales los recursos energéticos renovables pueden contribuir enormemente. Por consiguiente, en el 2008 se aprobó el D.L. N° 1002 de Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables, el cual conseguido diversificar nuestra matriz energética (4). Sin embargo, aún se necesita trabajar para transformar esta matriz a una más sostenible.

En general, en toda la costa del Perú hay grandes posibilidades de utilización de nuestro recurso eólico; existe mayor presencia de este en el departamento de Ica, en especial el distrito de Marcona (5). El distrito cuenta con una potencia nominal de aproximadamente 253 MW gracias a tres centrales eólicas, de las cinco en total a nivel nacional, en funcionamiento (6). Además, los vientos predominantes en el distrito vienen de dirección sur oeste y alcanzan los 25 km/h (7). En ocasiones ocurre el fenómeno de los vientos Paracas, una combinación de tormenta de arena y polvo, frecuentándose entre julio y setiembre con velocidades superficiales de 17 m/s aproximadamente (8).

El presente artículo tiene por objetivo identificar y analizar la situación que guarda la producción de electricidad mediante energía eólica, así como factores principales para su difusión en el distrito de San Juan de Marcona. Además, servirá de marco de referencia en el ámbito de energías renovables eólicas para la formulación de nuevos proyectos de inversión en el Distrito de San Juan de Marcona y departamento de Ica en general.

## **2. Producción eólica en el Perú**

La matriz energética del Perú es una de las más limpias debido a sus características geográficas y climáticas; las plantas de carbón y petróleo son parte de las reservas frías, es decir, usadas solo en casos de emergencia. El petróleo, mundialmente utilizado, en el Perú es muy escaso. Por lo que el incremento del uso de energías renovables es más conveniente, además de beneficioso: ambiental y económicamente. En Sudamérica alrededor del 25 % de la energía primaria es renovable y en el Perú lo es un 50 %, en unos años se proyecta un incremento a 60 %. Las fuentes renovables más resaltantes son: hidroeléctricas con una contribución aproximada de 70 000 MW, la energía solar en aproximadamente 20 000 MW y la energía eólica en aproximadamente 23 000 MW (9).

El viento como fuente de energía primaria inició hace años de manera experimental a través de las centrales eólicas de C.E. Marcona y C.E. Pto. Malabrigo cuyas capacidades instaladas juntas no

fueron mayores de 0.7 MW (10). La situación cambió luego de que el mecanismo de subastas de suministro de electricidad mediante recursos energéticos renovables (RER) se promoviera por el Estado a través del Decreto Ley N° 1002 “Ley de Promoción de la Inversión para la generación de electricidad con el uso de fuentes de energía renovable” (11). En consecuencia, se logró instalar, del 2014 al 2021, 412.2 MW de capacidad instalada de energía eólica (12); siendo de mayor tamaño la C.E. Wayra instalada en el 2018 con una capacidad de 132 MW (10), la cual próximamente sería desplazada por la C.E. Punta Lomitas ubicada en Ocucaje con una capacidad nominal de 260 MW (50 aerogeneradores) y en actual construcción (13).

La producción de energía a través de centrales eólicas aumento desde el 2014 (Figura 1) y su contribución en la producción de energía primaria. En el 2019, la producción interna de energía primaria de la energía eólica fue de 5 955.2 TJ a comparación del año anterior (5 406 TJ) evidenciando un incremento de 10.2 % y contribución del 0.5 % al total de la producción interna de energía primaria (Figura 2).

En la actualidad, la capacidad instalada del parque de generación eléctrica en el Perú es de 15 120.1 MW, donde la mayor participación en cuanto a centrales renovables convencionales es de las centrales eólicas con el 2.5 % contribuyendo al mercado eléctrico con 372.3 MW (10). Demostrando ser uno de los RER más importantes y con futuro prometedor en el Perú, el cual si se sigue impulsando podría incrementar su contribución en la matriz energética del país e impulsar la economía.

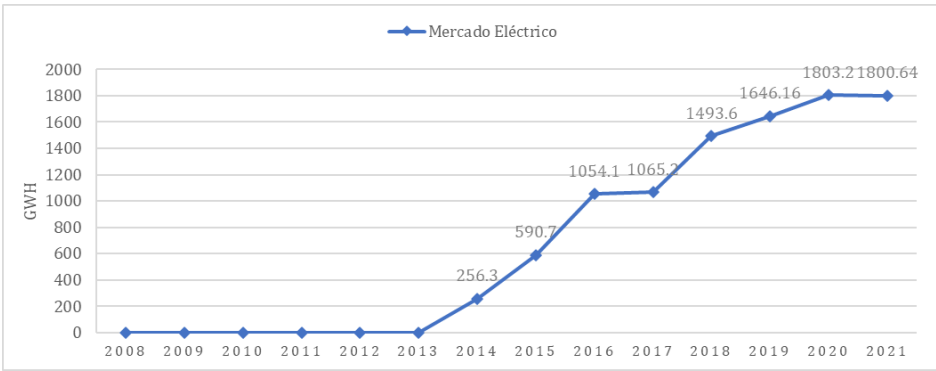
## **3. Producción eólica en San Juan de Marcona**

San Juan de Marcona es uno de los distritos con mayor presencia de Centrales Eólicas en el Perú. Tan solo tres de las centrales con mayor capacidad se encuentran en esta localidad, siendo estas: Tres Hermanas, Wayra I y Parque Eólico Marcona, con una potencia instalada de 97.2, 132.3 y 32.1 MW respectivamente

## **4. Metodología**

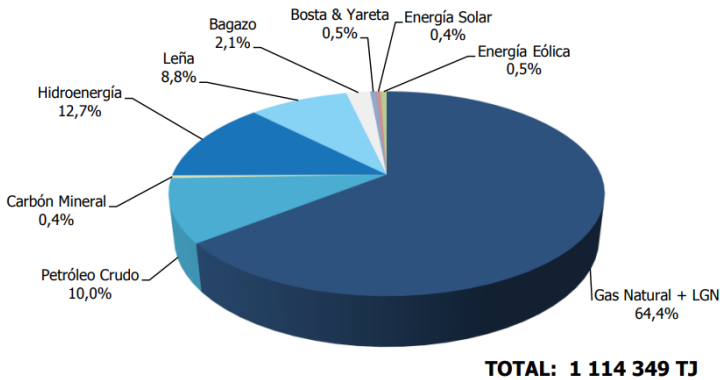
Se realizó una revisión exhaustiva en las bases de datos: ScienceDirect, Scopus y la plataforma Google. Académico; insertando e intercalando las palabras claves “Marcona” y “energía”, en dos idiomas: español e inglés. Así mismo, se revisaron los Estudios de Impacto Ambiental

Figura 1. Evolución de la Producción de Centrales Eólicas del Mercado Eléctrico (UNIDAD: GWh)



Nota. Estadísticas Reportadas del COES (12).

Figura 2. Participación de las fuentes en la producción interna de energía primaria en 2019



Nota. MINEM (10)

Tabla 1. Centrales Eólicas del Mercado Eléctrico en el Perú (2021)

| Empresa                            | Central       | Ubicación   | Producción |      | Potencia Instalada |      |
|------------------------------------|---------------|-------------|------------|------|--------------------|------|
|                                    |               |             | MWh        | %    | MW                 | %    |
| Parque Eólico Marcona S.R.L.       | Marcona       | Ica         | 169608     | 10.0 | 32                 | 8.5  |
| Energía Eólica S.A.                | Cuspinique    | La Libertad | 317823     | 18.7 | 83.2               | 22.2 |
|                                    | Talara        | Piura       | 134735     | 7.9  | 30.9               | 8.2  |
| Parque Eólico Tres Hermanas S.A.C. | Tres Hermanas | Ica         | 460491     | 27.1 | 97.2               | 25.9 |
| Enel Green Power Perú S.A.         | Wayra I       | Ica         | 618829     | 36.4 | 132.3              | 35.2 |
| Total                              |               |             | 1701485    | 100  | 375.6              | 100  |

Nota. Estadísticas Reportadas del COES (12).

(EIA) de cada una de las Centrales Eólicas ubicadas en el distrito, opiniones del gobierno peruano, talleres participativos, normativas y reportes emitidos por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES), Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) desde el 2008 hasta el 2022; intervalo donde se diversificó la matriz energética peruana, promovió e intensificó la energía eólica.

Toda la bibliografía se clasificó de acuerdo con su relación con la energía eólica, localización en el distrito de Marcona y relevancia de los proyectos ejecutados en este distrito. Posteriormente, la información fue ordenada cronológicamente y se discutió posibles potencialidades de esta energía a futuro.



5. Resultados

A partir de los proyectos identificados (Tabla 2) se detallan algunos acontecimientos importantes. En el 2009, luego de que se aprobara la Segunda Disposición Transitoria del D.L. N°1002 de Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables, se realizó la Primera Subasta RER para suministro de energía al Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN) llevado a cabo por OSINERGMIN por un plazo de 20 años. Siendo asignado inicialmente 320 GWh/año de energía requerida Eólica (14). Los adjudicados

fueron tres: el Consorcio “Cobra Perú S.A. / Perú Energía Renovable S.A.” para el proyecto en Marcona y Energía Eólica S.A. para los proyectos C.E. Talara y C.E. Cupisnique (15).

5.1. Central Eólica Marcona

La C.E. Marcona está bajo la empresa PARQUE EOLICO MARCONA S.A.C. (COBRA PERÚ), con una energía ofertada en la Primera Subasta RER de 148.378 GWh/año para su puesta en operación comercial el 01 de diciembre del 2012 (15), inversión de 43 643 048 USD (16). Su potencia

Tabla 2. Resumen de Centrales Eólicas en el distrito de San Juan de Marcona

| Status     | Nombre                             | Potencia (MW) |
|------------|------------------------------------|---------------|
| Operación  | Central Marcona                    | 32            |
|            | Central Tres Hermanas              | 97.2          |
|            | Central Wayra                      | 132.3         |
| Aprobados  | Central Eólica Wayra Extensión     | 108           |
|            | Central Eólica San Juan            | 131.1         |
|            | Central Eólica Torocco             | 112.2         |
| En trámite | Central Eólica Shougang            | 302.4         |
| Rechazados | Central Eólica San Juan de Marcona | 78            |
|            | Pampa Caracoles IV                 | 60            |
|            | Central Eólica Parque Nazca        | 126           |
|            | Central Eólica Parque Nazca 2      | 114           |
|            | Central Eólica Parque Nazca 3      | 102           |
|            | Central Eólica Parque Nazca 4      | 93            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 5      | 84            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 6      | 75            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 7      | 66            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 8      | 57            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 10     | 51            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 11     | 45            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 15     | 81            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 16     | 72            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 17     | 63            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 18     | 54            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 20     | 45            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 22     | 36            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 25     | 27            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 27     | 21            |
|            | Central Eólica Parque Nazca 29     | 15            |
|            | Parque Eólico San Juan             | 99            |
|            | Parque Eólico Torocco Norte        | 55            |
|            | Parque Eólico Torocco Sur          | 44            |
|            | Parque Eólico Twister              | 128.6         |

Nota. Datos de OSINERGMIN (37).

instalada nominal es de 32 MW, con 11 aerogeneradores Siemens modelo SWT 108 (8 de 2.3 MW y 3 de 3.15 MW) (17), lo cual genera una producción estimada anual de 150 GWh suministrando energía a más de 30 000 hogares durante 20 años (18). Cuenta con una instalación de una subestación de despacho y línea de transmisión de 31 km de longitud que consta de 102 torres de alta tensión separadas cada 300 m. Trasladan la energía generada y almacenada en la subestación de despacho del parque (SET PE Marcona 220/20Kv) hasta la subestación de San Juan de Marcona para abastecer el SEIN (16).

El EIA, aprobado mediante Resolución Directoral N°183-2011-MEM/AAE el 16 de junio del 2011, especifica que no existe evidencia de población asentada o posibles usos de las tierras en su área de influencia directa (AID). En el área de influencia indirecta (AII) considera a trabajadores foráneos en la etapa construcción que ocasionarían cambios temporales en la dinámica económica local (16). El mismo año la empresa presentó un certificado de inexistencia de restos arqueológicos – CIRA N° 2011-068/MC dentro del espacio de construcción.

Por otro lado, se realizaron talleres informativos antes, durante y después del proyecto, llevándose a cabo una Audiencia Pública final (16). Su concesión fue otorgada posteriormente un 13 de setiembre del 2012 mediante Resolución Suprema N°097-2012-EM, aprobándose el Contrato de Concesión N°389-2011 (19) y convirtiéndose en la primera central eólica en el distrito de Marcona y tercera a nivel nacional. La construcción duró entre 14 y 16 meses para finalmente ser puesta en marcha el 21 de marzo del 2014. Se registra una producción eléctrica de 169.61 GW-h en el 2021 y se espera que esta cifra siga en aumento (Figura 3).

## 5.2. Central Eólica Tres Hermanas

La C.E. Tres Hermanas se encuentra bajo el CONSORCIO TRES HERMANAS – COBRA PERU S.A., su energía ofertada presentada en la Segunda Subasta RER fue de 415.76 GWh/año a un precio monómico de 69 US\$/MWh, una puesta en operación comercial el 31 de diciembre del 2014 (20) e inversión de 180 000 000 millones de USD (21). En un principio se planificaba la operación de 45 aerogeneradores de 2 MW cada uno; sin embargo, debido a modificaciones de contrato y mejoras tecnológicas, el número de aerogeneradores se redujo (22). El parque no contempla líneas de transmisión; la energía en voltios por aerogenerador es elevada por un transformador y llevada por cableado subterráneo

hasta la subestación del Parque Eólico Marcona donde actúa otro transformador de 34.5 kV para ser finalmente entregado al SEIN (21).

Su EIA aprobado por Resolución Directoral N°251-2013-MEM/AAE detalla que no existe evidencia de población en su AID; por otro lado, el AII serían actividades relacionadas a brindar insumos y servicios especializados al Centro Poblado de San Juan de Marcona (16). Realizaron tres talleres participativos los días 23 de mayo, 14 de junio y 13 de diciembre del 2012 en el Club de Empleados “Social Marcona”. Además, instalaron dos buzones de sugerencias en la Municipalidad Distrital de Marcona y en la Avenida Los Incas s/n Lote D19 para recoger las opiniones, observaciones y sugerencias de los pobladores (23).

Su contrato de concesión definitiva fue otorgado mediante Resolución Suprema N°049-2014-MEM el 10 de julio del 2014, modificado luego por la Resolución Ministerial N°178-2016-MEM/DM, con el fin de que se prorrogue hasta el 14 de marzo de 2016 la ejecución de obras (24). El tiempo de construcción fue de 18-20 meses para luego pasar los periodos de pruebas paulatinamente y entregar energía al SEIN (21, Figura 3). Finalmente, con carta COES/D/DP-307-2016 del 9 de marzo del 2016, el COES aprobó su operación comercial desde el 11 de marzo del 2016. En la actualidad, la C.E. Tres Hermanas cuenta con una potencia instalada de 97.15 MW (25) y 33 aerogeneradores Siemens modelo SWT 108 (25 de 3.15 MW y 8 de 2.3 MW). Estos generan una producción estimada anual de 415 GWh suministrando energía a más de 80 000 hogares (18) luego de una inversión final aproximada de 185.7 MM USD (22).

## 5.3. Central Eólica Wayra I

La C.E. Wayra I está bajo la empresa ENEL GREEN POWER PERU S.A.C. Cuando se presentó la empresa postora a la Cuarta Subasta RER en el año 2016, este proyecto tenía el nombre de Central Eólica Parque Nazca y competía junto con otros 18 proyectos eólicos bajo la misma empresa todos ellos ubicados en Nazca. Sin embargo, fue esta central adjudicada por su propuesta de una energía ofertada de 573 GWh/año (26) e inversión de 165.8 millones de USD para su construcción y puesta en marcha (27), suministrando electricidad a más de 483 hogares durante 20 años (28). Posteriormente, mediante Resolución Ministerial N°290-2016-MEM/DM se otorgó a ENEL la concesión definitiva para la generación eléctrica de la Central Eólica Parque Nazca de 126 MW (27) y potencia instalada de 160 MW (29).

Inicialmente, se planeaba la construcción y operación de 80 aerogeneradores, una subestación elevadora. Una Línea de Transmisión Eléctrica y obras complementarias (30). Cada aerogenerador generaría aproximadamente 690 voltios que serían elevados por medio de un transformador y luego llevados a la Subestación Eléctrica del Parque Eólico Nazca por cableado subterráneo, aquí otro transformador elevaría la tensión para ser transportado a la Subestación Eléctrica Poroma conectada al SEIN (31).

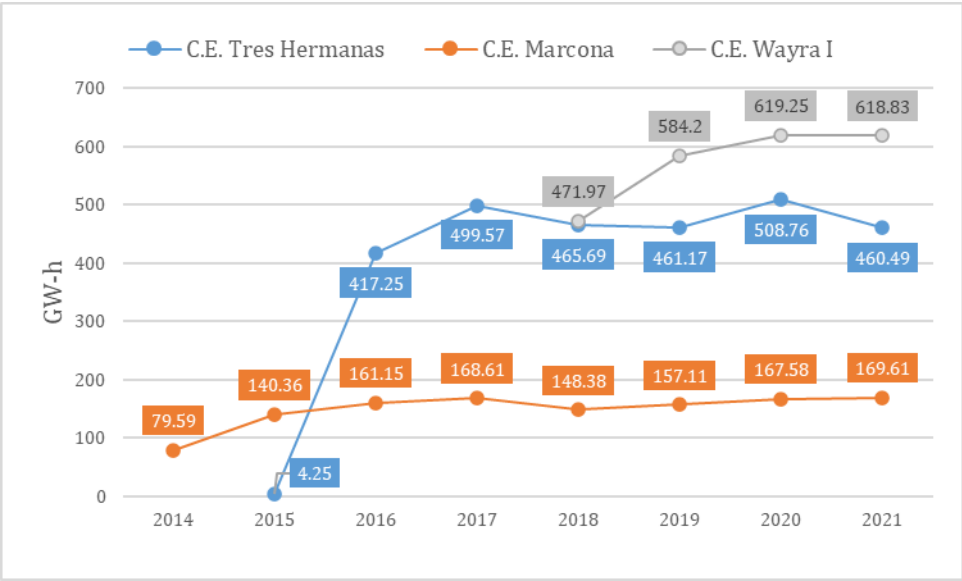
La Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) aprobó el EIA de la C.E. Parque Nazca mediante Resolución Directoral N°048-2015-MEM/DGAAE el 10 de febrero de 2015. El AID abarcaba una zona desértica de 500 m respecto al polígono del área del proyecto y el AII comprendía la “Asociación Justo Pastor” como centro poblado más cercano y el centro urbano San Juan de Marcona generando movimiento económico por los servicios ofrecidos en la etapa de construcción (31). Así mismo, se implementó un buzón de sugerencias y talleres participativos contenidos en el Plan de Participación Ciudadana Parque Eólico Nazca y su interconexión al SEIN los días 21 de marzo y 8 de abril del 2014 en el auditorio del Club de Empleados “Social Marcona” (30). El 25 de julio del 2017 mediante Resolución Ministerial N°314-20117-MEM/DM, se aprobó el cambio de nombre de la Central Eólica Parque Nazca por Central Eólica Wayra I (27). El periodo de construcción tardó 14 meses y se

empezó a comercializar en 7 meses y 11 días, mucho antes de la fecha establecida por el gobierno. Además, su funcionamiento evita la emisión de 287 981 toneladas anuales de CO2 a la atmósfera. La planta no generó impacto ambiental al ser alimentada por dos mini aerogeneradores, evitándose 1,64 toneladas de CO2 (28). En la actualidad cuenta con 42 aerogeneradores ACCIONA AW125/3150 (25) de 3.15 MW cada uno para una potencia instalada de 132.3 MW, un aerogenerador no construido de entre 3.3 y 6.3 MW, que hasta el 2021 aportó 618.83 GM-h (Figura 3). Se cuenta con un actual proyecto Wayra Expansión en construcción con 30 aerogeneradores de 3.6 MW y una potencia instalada de 108 MW que una vez en funcionamiento aportaría mayor energía eléctrica al SEIN (32).

5.4. Central Eólica Torocco

Esta Central está bajo la empresa BOW POWER S.R.L. y se ubicaría entre los distritos de Marcona y Lomas, provincias de Nazca y Caravelí respectivamente. Se instalarían hasta 34 aerogeneradores distribuidos equitativamente en la zona norte y sur, con una potencia nominal unitaria de 3.3 MW, además, se construiría una Línea de Transmisión Eléctrica de aproximadamente 6.99 km, conectando este parque eólico con la SE Tres Hermanas. En total, la potencia de este proyecto sería de hasta 112.2 MW y de duración de 30 años, con una generación de 503 GWh/año (33).

Figura 3. Evolución de la Producción de las centrales eólicas al mercado eléctrico



Nota. Estadísticas reportadas del COES (12).

## 5.5. Central Eólica San Juan de Marcona

Fue propuesta por primera vez en la Segunda Subasta RER llevada a cabo por OSINERGMIN en 2011, y se encontraba bajo el postor ENERGIA RENOVABLE DEL CENTRO S.A. Ofrecía una potencia de 78 MW y una energía ofertada anual de 298.87 GWh, pero fue descartada por una observación de tipo A “Excede Energía Requerida y/o Capacidad Admisible de Potencia”(20). Este proyecto plantea la construcción y puesta en operación de una planta eólica compuesta por 33 aerogeneradores, una Subestación Eléctrica del Parque Eólico San Juan y otras complementarias. Además, se incluye una Línea de Transmisión Eléctrica de 32.5 km de longitud uniendo la Subestación Eléctrica del Parque Eólico San Juan con la existente SE Marcona, que está conectada al SEIN (34).

## 5.6. Parque Eólico Muyu

Este parque eólico se encuentra en estado de proyecto (Tabla 2) y está a cargo de la empresa ENEL GREEN POWER PERU S.A.C. Ubicado entre el distrito de Lomas y San Juan de Marcona. Así mismo, tendría una potencia instalada total de aproximadamente 217 MW y 35 aerogeneradores con una potencia unitaria de 6.2 MW. Estaría conectado de manera subterránea hacia la subestación elevadora que se conectará al SEIN mediante una Línea de Transmisión a través de la Subestación Eléctrica Poroma (35).

## 6. Discusión

Los resultados muestran una gran preferencia de las empresas en invertir en la energía eólica en el distrito de Marcona. A partir de la primera subasta RER llevada a cabo por OSINERGMIN en el 2009, Marcona ha sido uno de los lugares preferidos para la planeación de proyectos de centrales eólicas. Cada una de las centrales paso por un proceso de subasta y adjudicación, así como han presentado su EIA donde estipulan que no generan un impacto negativo en sus respectivas áreas de influencia. En cambio, han incrementado el movimiento económico en el distrito.

Dos de estas centrales presentan centros poblados en sus Áreas de Influencia Indirecta. En la C.E. Wayra I, la “Asociación Justo Pastor” no contaba con servicio eléctrico al momento de la elaboración del EIA del Parque Eólico Wayra I, pero la empresa ENEL GREEN POWER se comprometió en buscar a una solución a esta problemática (30). Esto hace resaltar la importancia y papel crucial que tienen

cada una de las empresas adjudicadas en el desarrollo local de la zona donde se encuentran ubicadas las centrales.

Ormeño Berrocal menciona que la energía producida por el viento en esta matriz energética contribuye en la reducción de gases de efecto invernadero, siendo una solución con solo ventajas; aunque los gastos iniciales puedan ser elevados. El beneficio ambiental puede ser un arma de doble filo si no se manejan adecuadamente los impactos ambientales negativos generados. Para citar como ejemplo, la C. E. de Tres Hermanas fue supervisada en el 2018 por la OEFA, donde se concluía que los administrados incurrieron en supuestas infracciones a la normativa ambiental al no disponer correctamente 12 cilindros con contenido de aceite dieléctrico sobre parihuelas y otras sustancias químicas contaminantes (36).

## 7. Conclusiones

El distrito de Marcona es conocido por su potencial eólico a nivel nacional. Sus vientos alcanzan los 25 km/h al ubicarse en una zona desértica cerca del litoral costero, haciéndolo candidato perfecto para la construcción de centrales eólicas que generen energía eléctrica al SEIN. Esto se refleja en diversas concesiones de centrales eléctricas en la zona y diferentes proyectos propuestos en las subastas del OSINERGMIN desde la aprobación del Decreto Legislativo N° 1002, Ley de Promoción de la Inversión en Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables en el 2008. La generación a través de los RER y en especial la tecnología eólica ha ido en aumento en el distrito de Marcona tal como se muestra en la Tabla 2, descarbonizando el sector energético y contribuyendo a los objetivos de mitigación a los cuales el gobierno peruano se ha comprometido a cumplir. Finalmente, la implementación de estas centrales ayuda a impulsar la economía local de Marcona y de la región de Ica en general. Esperemos que la implementación de tecnologías RER crezca en un futuro a través del apoyo de políticas de gobierno, participación ciudadana e inversión del estado.

## Bibliografía

1. Valdeolmillos I. El papel de las energías renovables en la transición energética y los planes de recuperación. enerTIC [Internet]. 2021 [citado 2022 Sep 17];1(1). Disponible en: <https://enertic.org/el-papel-de-las-energias-renovables-en-la-transicion-energetica-y-los-planes-de-recuperacion/>



2. Alsina SB, Castells XE. Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad [Internet]. Diaz Santos; 2011. 25 p. Disponible en: <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788499690094.pdf>
3. Marín CE. La energía eólica en España. Investig Geográficas [Internet]. 2004;35:45-65. DOI: 10.14198/INGEO2004.35.03
4. OSINERGMIN. Energías renovables: Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú hacia la Transición Energética [Internet]. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. 2019 [citado 2022 Sep 18]. 143 p. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)
5. Jordan Arias J. Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona. Test [Internet]. 2009;1-119. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/576>
6. ESAN C. Energías renovables en Perú: tipos, características y situación actual [Internet]. Conexión ESAN. 18 Dic 2020 [citado 2022 Sep 18]. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/energias-renovables-en-peru-tipos-caracteristicas-y-situacion-actual>
7. Valle L. Centro logístico y servicios complementarios en Marcona [Tesis de Bachiller]. Lima: Univ San Ignacio de Loyola; 2018 [citado 2022 Sep 18]. Disponible en: <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/8713>
8. Quijano J. Estudio numérico y observacional de la dinámica de viento Paracas, asociado al transporte eólico hacia el océano frente a la costa de Ica-Perú [Tesis de Magister]. Lima: Univ Peru Cayetano Hered; 2013. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/958>
9. Quintanilla E. El futuro del sector energético peruano [Internet]. Conexión ESAN. 13 Mar 2018 [citado 2022 Oct 2]. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-futuro-del-sector-energetico-peruano>
10. MINEM. Balance Nacional de Energía 2019. Minist Energía y Minas Perú [Internet]. 2021. 194 p. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1875333/Balance Nacional de la Energía 2019.pdf>
11. Mitma Ramírez RE. Análisis de la regulación de energías renovables en el Perú [Internet]. Derecho Soc. 2015;(45):167-76. Disponible en: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/15235>
12. COES. Portal Web del COES [Internet]. Consulta Histórica. 2020 [citado 2022 Oct 30]. p. 10. Disponible en: <https://www.coes.org.pe/Portal/home/>
13. ENGIE. ¡Buen viento en Punta Lomitas! ; s.f. [citado 2022 Oct 30]. Disponible en: <https://engie-energia.pe/historias/buen-viento-en-punta-lomitas>
14. OSINERGMIN. Bases para la Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables. Peru; 2009. 74 p.
15. OSINERGMIN. Acta Notarial de Adjudicación - Subasta de Suministros de Electricidad con Recursos Energético Renovables. Lima; 2010. 9 p. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/energias-renovables/Subastas/PrimeraSubasta01/primera\\_subasta1\\_Acta005.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/energias-renovables/Subastas/PrimeraSubasta01/primera_subasta1_Acta005.pdf)
16. Resolución Directoral 183-2011-MEM-AAE [MINEM]. Aprobar el Estudio de Impacto Ambiental Parque Eólico Marcona y Línea de Transmisión. 16 Jun 2011.
17. Cobra. Parque Eólico Marcona – GRUPO COBRA [Internet]. [citado 2022 Nov 1]. Disponible en: <https://www.grupocobra.com/proyecto/parque-eolico-marcona/>
18. OSINERGMIN. Foro Regional ICA 2013 Eficiencia y Nuevas Tecnologías en los Sistemas Eléctricos Parques Eólicos en Marcona. 2013. 18 p.
19. INERCO. Plan Ambiental Detallado (PAD) para los componentes auxiliares del parque eólico Marcona [Internet]. Nov 2021. 380 p. Disponible en: [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/PAD%20COMPONENTES%20AUXILIARES%20PE%20MARCONA%20\(1\)\\_compressed-1-301-400-1-80.pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/PAD%20COMPONENTES%20AUXILIARES%20PE%20MARCONA%20(1)_compressed-1-301-400-1-80.pdf)
20. OSINERGMIN. Acta Notarial de Adjudicación - Segunda Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables [Internet]. Peru; 2011. 9 p. Disponible en: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/energias-renovables/Subastas/PrimeraSubasta01/primera\\_subasta1\\_Acta005.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/energias-renovables/Subastas/PrimeraSubasta01/primera_subasta1_Acta005.pdf)

21. Walsh Peru S.A. Estudio de Impacto Ambiental Parque Eólico Tres Hermanas [Internet]. Jul 2012. Disponible en: <https://wiac.info/docviewer>
22. OSINERGMIN. Puesta en operación comercial del parque eólico Tres Hermanas (97,15 MW) [Internet]. 2016. 5 p. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/Institucional/Bolet%C3%ADn%20Institucional/Noticia\\_a\\_publicar\\_Web%20Tres%20Hermanas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/Institucional/Bolet%C3%ADn%20Institucional/Noticia_a_publicar_Web%20Tres%20Hermanas.pdf)
23. Resolución Directoral 251-2013-MEM/AAE [MINEM]. Aprobar el Estudio de Impacto Ambiental Parque Eólico Tres Hermanas . 28 Aug 2013.
24. Resolución Ministerial 178-2016-MEM/DM [MINEM]. Aprueban la Primera Modificación al Contrato de Concesión N° 451-2014. 11 May 2016.
25. Comité de Operación Económica del Sistema (COES). Listado de Centrales [Internet]. 2021 [citado 2022 Nov 8]. Disponible en: <https://www.coes.org.pe/Portal/FichaTecnica/FichaTecnica/DatosCentralE?id=15160&iFamilia=39>
26. OSINERGMIN. Acta notarial de Adjudicación Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Lima; 2016. 17 p.
27. OSINERGMIN. Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en construcción [Internet]. Lima; 2019. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/electricidad/Documentos/Publicaciones/Compendio-Proyectos-GTE-Construccion-julio-2019.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/electricidad/Documentos/Publicaciones/Compendio-Proyectos-GTE-Construccion-julio-2019.pdf)
28. Enel Perú. Wayra 1: la energía del viento para una nueva era [Internet]; 2018 [citado 2022 Nov 8]. Disponible en: <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/wayra-i-la-primera-central-eolica-de-enel-en-peru.html>
29. Resolución Ministerial 290-2016-MEM/DM [MINEM]. Otorgar concesión definitiva de generación de Recursos Energéticos Renovables a favor de Enel Green Power Perú S.A. 13 Jul 2016 .
30. Pacific PIR. Parque eólico Nazca y su interconexión al SEIN. Estudio de Impacto Ambiental. Resumen Ejecutivo [Internet]. Lima; Abr 2014. Disponible en: <https://www.eib.org/attachments/registers/77033052.pdf>
31. Resolución Directoral 048-2015-MEM/DGAEE [MINEM]. Aprobar el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Parque Eólico Nazca y su interconexión al SEIN”. 10 Feb 2015.
32. SERNANP. Informe técnico sustentario para la ampliación y mejora tecnológica de la central eólica Wayra – Complejo de Energías Renovables Wayra” [Internet]. 2022. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3645679/Opinion\\_Tecnica\\_Nº\\_932-2022-SERNANP-DGANP.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3645679/Opinion_Tecnica_Nº_932-2022-SERNANP-DGANP.pdf)
33. INERCO. Estudio de Impacto Ambiental – Semidetallado (EIA-sd) del Proyecto: “Parque Eólico Torocco 112.2 MW” [Internet]. 2021. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/1%20GENERALIDADES-DPY-AI.pdf>
34. Pacific PIR. Resumen Ejecutivo del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) parque eólico San Juan y su interconexión al SEIN [Internet]. 2014. Disponible en: <https://docplayer.es/74831540-Resumen-ejecutivo-del-estudio-de-impacto-ambiental-eia-parque-eolico-san-juan-y-su-interconexion-al-sein.html>
35. Walsh Peru S.A.C. Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado proyecto “parque eólico MUYU y su línea de transmisión” [Internet]. Oct 2020. Disponible en: [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Parte\\_2\(1\).pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Parte_2(1).pdf)
36. Resolución Directoral 00965-2019-OEFA/DFAI [OEFA]. Procedimiento Administrativo Sancionador hacia Parque Eólico Marcona S.A.C. 28 Jun 2019.
37. OSINERGMIN. Subastas [Internet]. [citado 2022 Dec 12]. Disponible en: <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas>

## La cosecha de energía a escala micro y sus clasificaciones

### Micro-scale energy harvesting and its classifications

Fiamma Vanessa Norabuena Aliaga

Ingeniera industrial. Universidad de Lima. Lima, Perú.

Contacto: [fiamanorabuena@gmail.com](mailto:fiamanorabuena@gmail.com)

#### Abstract

The following research exposes the potential of certain types of energy on a micro scale as one of the solutions to extend the life of batteries' cycle to reduce the accumulation of this toxic waste. It considers interesting examples of thermal, mechanical, radiant, and biochemical sources for low-power energy generation; and, finally, the advantages and disadvantages of each energy's utility.

**Keywords:** batteries, thermal sources, mechanical sources, radiant sources, biochemical sources

#### Resumen

La siguiente investigación expone el potencial de ciertos tipos de energía a escala micro como una de las soluciones para alargar el ciclo de vida de las baterías, para así reducir la acumulación de este residuo tóxico. Se mencionan ejemplos interesantes del uso de fuentes térmicas, mecánicas, radiantes y bioquímicas para la generación energética de baja potencia. Finalmente, se dan a conocer las ventajas y desventajas de la utilidad de cada forma de energía.

**Palabras clave:** baterías, fuentes térmicas, fuentes mecánicas, fuentes radiantes, fuentes bioquímicas

### 1. Introducción

Las energías renovables son fundamentales para la transición hacia una matriz energética limpia, por esta razón, es imperativo encontrar formas de potenciar tipos de fuentes ya conocidos con el desarrollo de tecnologías inéditas para así sacar mayor provecho. Entre estas tecnologías se encuentra el Energy Harvesting (EH) de traducción “cosecha de energía” definida como el proceso de capturar pequeñas cantidades de energía del ambiente para acumularlas, almacenarlas y usarlas posteriormente.

Por otro lado, en la electrónica han logrado fabricar dispositivos inalámbricos cada vez más pequeños y funcionales. Sin embargo, los dispositivos siguen dependiendo de baterías cuyo tiempo de descarga no va de acorde a su uso diario. Además, la obsolescencia programada conlleva a contaminar el ambiente con baterías en desuso que son difíciles de reciclar.

Una solución novedosa a esta problemática

mencionada es la cosecha de energía disponible en el ambiente para abastecer estos dispositivos de baja potencia. Los EH pueden utilizar tipo de fuentes de energía mecánica, radiante, bioquímica, térmica, etc. Las aplicaciones se dan particularmente en los sectores medicina y deporte para monitorear la salud de los pacientes. Asimismo, los EH son una alternativa interesante para aplicaciones de baja potencia en lugares remotos y sin suministro de energía.

### 2. Problemática de las baterías

La evolución tecnológica y las tendencias de los últimos veinte años lograron cambios de gran relevancia en la construcción de dispositivos electrónicos, con modificaciones significativas en el tamaño y consumo, reduciendo ambos en gran escala (1). A esto se le suma su gran versatilidad al contar con una alta funcionalidad y portabilidad. Aunque estos dispositivos avanzados hacen que la vida diaria sea más

conveniente, sus baterías de litio tienen una vida útil limitada y, en algunos casos, siguen siendo voluminosas y pesadas (2). También requieren una recarga o sustitución frecuente, lo que crea otros tipos de inconvenientes (3,4).

Por otro parte, los estándares de vida de las personas están cambiando de tal forma que cada vez requerimos una mayor cantidad de aparatos electrónicos, lo que conlleva a un incremento de residuos electrónicos. Hasta el 2020, la generación global de desechos electrónicos creció 9.2 Mt desde 2014 y se prevé que aumente a 74.7 Mt para 2030, casi duplicándose en solo 16 años (5). Es importante mencionar el caso de las baterías en dispositivos electrónicos ubicados en lugares remotos que no cuentan o se encuentran alejados de una red de suministro eléctrico. Estas requieren de mantenimiento, sustitución, reemplazo de componentes electrónicos, etc.; generando gastos de mantenimiento, de transporte y riesgo para el personal encargado.

### 3. Energy Harvesting

El Energy Harvesting, Energy Scavenging, Power Harvesting o de traducción “cosecha de energía” hace referencia a los sistemas encargados de la recuperación, reutilización, aprovechamiento y transformación de diferentes tipos de energía del ambiente que usualmente se desperdician (1). Lo ideal es encontrar fuentes de energía sostenibles y reducir su dependencia de fuentes eléctricas comunes como la red eléctrica pública (3). La energía solar, térmica, magnética, eólica, sonora, mareomotriz y vibracional son unos cuantos ejemplos de recursos energéticos sustentables que se pueden explotar.

Los EH se dividen en escala macro y micro. La macro se refiere a aplicaciones de mayor escala desarrolladas para reducir la dependencia de combustibles fósiles; y la micro, enfocada en pequeña escala, recargar unidades de almacenamiento (baterías, capacitores, etc.) para dispositivos de poca potencia como sensores individuales, red de sensores inalámbricos, etc. (6,1). Generalmente, la recuperación de energía considera cuatro fases: la captación y transformación a energía eléctrica de carácter alterno por el sistema de cualquier tipo de energía, el acondicionamiento de la energía capturada hacia una corriente continua, el almacenamiento y suministro de la potencia regulada y la aplicación final de baja potencia (7). Desde la perspectiva de los EH, las diversas formas de energía en nuestro entorno son fuentes latentes de potencia que por lo general son inutilizadas (1).

Se pueden clasificar según el tipo de fuente de energía como la mecánica, radiante, bio-química y térmica. Según Fan et al. (8) el cuerpo humano es una rica fuente de energía que contiene tanto energía química como física. El EH acompañado con el Internet de las cosas (IoT) está generando un gran interés en relación con sistemas inteligentes de monitoreo de redes en ubicaciones distantes (9). En algunos casos, se considera adecuado para la generación energética in situ de sistemas ubicados en lugares lejanos fuera de la red (10) con unidades de almacenamiento y una correcta gestión de la energía.

#### 3.1. Energía térmica

La temperatura corporal normal del ser humano se mantiene entre 36.5 y 37.5 °C. La diferencia de temperatura entre objetos y su entorno permite extraer energía gracias a la transferencia de calor mediante el efecto termoelectrico (7). Se pueden generar aproximadamente 60-180 W dependiendo de la actividad y si consideramos un 1 % de eficiencia de conversión, los dispositivos termoelectricos podrían recuperar entre 0.6 y 1.8 W de energía del calor corporal (2).

Uno de los dispositivos recuperadores de energía es el termoelectrico. Los generadores termoelectricos (TEG) basan su funcionalidad en el efecto Seebeck, el cual genera un voltaje eléctrico al tener un diferencial de temperatura. Los TEG pueden ser de materiales rígidos o flexibles, y consisten en muchas termopilas, que están formadas por diferentes termopares conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo (11).

Los científicos Suarez et al. (15) crearon un TEG flexible (f-TEG) hecho con patas termoelectricas largas de alta calidad incrustadas en un elastómero. Las patas termoelectricas fueron interconectadas con una aleación metálica (indio y galio), logrando operar a diferentes temperaturas y en todo tipo de aplicaciones. El f TEG de 4 cm<sup>2</sup> se probó al usarlo una pulsera en un ambiente con condiciones variables de temperatura. Al igual que diferentes velocidades de aire (ventilador) para simular actividades como caminar y estar en reposo. A 35 °C, el voltaje máximo observado fue de 0.69 mV y 0.33 W de potencia. Mientras que, a 24 °C, el voltaje y la potencia estuvieron en un rango de 1.47 a 2.96 mV y 1.48 a 6 W, respectivamente.

Kim et al. (9) y su equipo inventaron un f-TEG



compuesto por materiales inorgánicos, con una técnica de serigrafía (SPT) y un proceso de escaneo múltiple láser (LMS), logrando un transductor con mayor rendimiento y de manufactura más simple. El prototipo tiene un arreglo de 72 pares termoelectricos (TE). Este fue puesto a pruebas de durabilidad y flexibilidad, se midió el voltaje y potencia generada, teniendo un rendimiento sobresaliente de 500 mV y 4.78 mW/cm<sup>2</sup> a 25 °C.

### 3.2. Energía mecánica

La energía mecánica está omnipresente en el ambiente y cuerpo humano. Este concepto fue explorado durante mucho tiempo con el objeto de convertirla en electricidad (4). Se pueden aprovechar varias circunstancias, especialmente en entornos con muchas vibraciones o variables en el tiempo según las actividades que se hagan (11) por ejemplo la potencia disponible al andar depende de la fuerza de impacto y desplazamiento vertical de la pisada, así como de la frecuencia de la marcha (3).

La actividad que más hace el ser humano es caminar, la cual consume 67 W de energía. Mediante la cosecha de energía, se puede recuperar entre 5 a 8.3 W (1). La piezoelectricidad es la generación de energía a partir de la presión de ciertos materiales. Existen diferentes transductores sintéticos, los más empleados son la estructura rígida PZT y el film PVDF.

Los autores Xie y Cai (3) elaboraron un mecanismo deslizante trapezoidal para compensar la poca energía producida al caminar. La propuesta está compuesta por engranajes, un micro generador y resortes; fue ubicada dentro del talón de la suela del calzado. El prototipo fue puesto a prueba en una caminadora a velocidades de 3 a 5 km/h y se reportaron valores de 0.81 a 1.39 W de potencia. Además, se pudo cargar un módulo GPS que requiere de 65 mW para funcionar.

Los autores Fan et al. (8) diseñaron un recolector piezoeléctrico bastante complejo compuesto por un sistema que considera todos los movimientos que se dan al caminar (el golpe del pie en el suelo al caminar, el balanceo de la pierna durante el caminar y la compresión del peso de la persona) para generar energía. Se informó la generación de 0.03 MW a 0.35 MW al caminar en una trotadora a velocidades de 2 a 8 km/h respectivamente.

### 3.5. Energía radiante

La fuente de energía renovable con mayor disponibilidad es el sol, siendo matriz de origen de otros tipos de fuentes renovables como la eólica, mareomotriz, biomasa, etc. Una célula fotovoltaica

es capaz de convertir energía solar directamente a energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico (7). Este fenómeno consiste en detectar energía a través de la exposición de ciertos materiales a radiaciones de luz natural o artificial (11).

El progreso tecnológico-electrónico ha logrado fabricar celdas fotovoltaicas de distintos modelos, como las estructuras rígidas de diferentes tamaños, que son las más conocidas y escogidas por el mercado energético. Actualmente, se ha customizado los módulos fotovoltaicos de estructuras pesadas y duras a láminas flexibles y ligeras. Según Ostfeld y Arias (12), en algunos casos los módulos flexibles ya vienen integrados con el sistema de gestión de energía y carga en las mismas láminas, así se evita el cableado de conexión con otros componentes.

Los autores Misra et al. (16) desarrollaron el sistema portátil "Soli-Band" con el fin de monitorear la frecuencia cardíaca y la oxigenación de la sangre de los pacientes. El sistema cuenta con células solares de silicio monocristalino, una batería de litio de 20 mAh, un supercondensador y una placa electrónica para la gestión de carga. Se necesitaron de 30 minutos de luz solar para la carga de la batería de litio, y aproximadamente una hora de luz solar indirecta.

García-Valverde et al. (17) desarrollaron un sistema fotovoltaico de diseño semi integrado portátil. Este sistema consiste en un módulo OPV (Organic Photovoltaics) flexible que se enrolla alrededor de un cilindro de plástico, dentro de este se encuentra una batería rígida y una placa electrónica encargada de la administración de energía. El prototipo cuenta con una batería de litio de 82 Wh que fue cargada a una capacidad de 15 Wp. Con este sistema se logró cargar celulares, iluminación con focos LED y aplicaciones que requieran de poca energía mecánica como una bomba de agua pequeña.

### 3.6. Energía bio-química

Las celdas de combustible microbianas (MFC, por sus siglas en inglés) están atrayendo mucha atención debido a su capacidad energética a partir de la materia orgánica contenida en sedimentos acuáticos, suelos, lodos activados, excrementos, compost, aguas residuales domésticas, etc. (10) que comúnmente son difíciles de tratar.

Los MFC cuentan con dos electrodos: ánodo y cátodo. Se adhieren bacterias o enzimas al ánodo (en algunas ocasiones, se aprovechan las bacterias que ya existen dentro de ambientes anaeróbicos) y se introduce dentro del sedimento, lodo, suelo,

planta, etc.; mientras que el cátodo es colocado en un entorno aeróbico. Al pasar un par de días, los microbios presentes en el ánodo descomponen la materia orgánica, generando así energía. Según Srivastava et al. (13), una configuración de seis unidades MFC continuas produjeron la mayor cantidad de potencia de salida de  $2 \times 10^2$  W/m<sup>2</sup> mediante el uso del hexacianoferrato como cátodo en períodos de una hora.

Yamashita et al. (10) construyeron un tipo de celdas combustibles microbianas (MFC), compuesta por un cátodo hecho de una malla de acero inoxidable sin tratar, el cual se dejó flotando; y, un ánodo hecho de una malla de acero inoxidable calentada a 600 °C que fue insertada en una muestra de suelo de un campo arrocerero. El sedimento arrocerero presenta naturalmente los exoelectrógenos (bacterias) que ayudarán a descomponer la materia orgánica. Los autores idearon un arreglo de componentes electrónicos ideales para aumentar la baja potencia generada por el MFC (3 y 87  $\mu$ W), logrando así cargar sensores de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>, un módulo de transmisión Bluetooth de baja energía y un supercapacitor de 10 mF.

#### 4. Ventajas y Desventajas

La energía térmica emplea, en algunos casos, generadores térmicos flexibles; son puestos en lugares estratégicos del cuerpo humano para aprovechar el calor corporal, dándole ventajas al no requerir de una acción específica para accionar el transductor y energía hasta cuando el usuario está en reposo. El transductor tiene aplicaciones portátiles debido a su peso ligero, baja resistencia térmica, transpirabilidad, comodidad, alta cobertura sobre la piel y facilidad de incorporación en los textiles (2). Además, al ser flexible no contiene partes móviles, lo que reduce las fallas físicas y eléctricas, y ofrece confiabilidad durante la operación duradera y autónoma (9).

Por el contrario, la desventaja principal es la eficiencia de conversión de energía de los TEG; por sí solos es demasiado baja para cargar dispositivos electrónicos portátiles. También se requiere de un alto costo por unidad y en caso de altas temperaturas, la estructura puede fallar (17).

En cuanto a la energía mecánica, esta está presente en distintas fuentes tales como la presión, cinética, vibraciones y actividades humanas; sus respectivos transductores a utilizar son los generadores AC/DC y elementos como piezoeléctrico y electrostáticos inductivos (7). Los transductores piezoeléctricos tienen las ventajas principales de medir fuerzas de gran presión, ser estructuras simples y, sobre todo,

económicos. Adicionalmente, se pueden fabricar de distintos modelos como estructuras rígidas, como los sensores de diafragma cerámico, y los films, de estructuras delgadas y muy flexibles.

No obstante, ciertos autores prefieren basarse en la definición de la piezoelectricidad mas no emplean transductores piezoeléctricos, pues no se logra generar una cantidad significativa de energía. Incluso si consideramos los transductores piezoeléctricos industriales, estos suelen valer más de 2,500 dólares cada uno. Por estas razones, los micro generadores mecánicos son una opción más asequible y de mayor eficiencia energética.

Con respeto a las ventajas de la energía radiante, esta es una de las tecnologías más desarrolladas en estos tiempos, lo cual significa que es bastante económica y que se puede adaptar a cualquier aplicación, en especial para zonas alejadas de la red eléctrica. En la mayoría de los casos, en especial en los sistemas off-grid, el arreglo de transductores y componentes electrónicos logran obtener una cantidad de energía significativa, dándole a la aplicación la autonomía necesaria para que ya no se requiera de mantenimiento constante.

En contraste, se genera un brusco descenso energético al reducirse la irradiación solar durante el día, lo cual hace necesario las baterías como respaldo. Algunos materiales fotovoltaicos sufren cambios pequeños al variar de una mayor radiación a otra (7) disminuyendo así el rendimiento eléctrico.

Por lo que corresponde a la energía bioquímica, esta puede explotar la poca energía producida por una celda microbiana (mediante la disposición de componentes) haciéndola una opción módica y de mantenimiento sencillo. También es ideal para aprovechar sustancias orgánicas que se encuentran en residuos difíciles de tratar (en especial para el tratamiento de efluentes residuales) y generar energía en el mismo sitio. Es perfecto para ubicaciones remotas fuera de la red.

Es importante mencionar que la conversión de energía es directa del sustrato orgánico (18) y que no se precisa de procedimientos químicos durante la inoculación bacteriana (10). Sin embargo, existe una baja densidad de potencia, la superficie del electrodo es limitada y puede haber pérdidas por la activación y por el mismo metabolismo de las bacterias (17).

#### 5. Conclusiones

Los EH de tamaño micro hacen partícipe al usuario

en la generación de su propia energía, dando más autonomía a aplicaciones situadas en lugares apartados del servicio público de energía; logrando así, en ambos casos, que la frecuencia de recarga de baterías se reduzca, una vida útil mayor y menos residuos de baterías en desuso. Los valores de generación de energía son diferentes dependiendo de la fuente de energía, la disponibilidad de esta, las condiciones climáticas, el arreglo de componentes electrónicos, ubicación, etc.; lo que quiere decir que no existe una fuente de energía mejor en comparación con otras. La clave está en analizar los factores (en especial la disponibilidad de la fuente y la gestión inteligente de la energía) que influyen en la aplicación para elegir una fuente o mezclar varias (tanto macro como micro) y obtener un mayor beneficio energético.

Cabe subrayar que, según la literatura revisada, en su mayoría son tecnologías a nivel de laboratorio. Se espera que estos proyectos se puedan escalar y comercializar. Es fundamental que los materiales que se utilicen en la fabricación de los transductores, elementos electrónicos, etc. sean los más amigables posibles con el ambiente.

## Bibliografía

1. Sepúlveda Orozco E. Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Genrada por un Ser Humano al Caminar [Internet]. Bogotá; 2014 [citado 2022 Mar 8]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/5287>
2. Nozariasbmarz A, Collins H, Dsouza K, Polash MH, Hosseini M, Hyland M, et al. Review of wearable thermoelectric energy harvesting: From body temperature to electronic systems [Internet]. Applied Energy [Internet]. 2020. Jan 15; 258(114069). DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114069
3. Xie L, Cai M. An In-Shoe Harvester with Motion Magnification for Scavenging Energy from Human Foot Strike. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics [Internet]. 2015 Dec 1;20(6):3264–3268. DOI: 10.1109/TMECH.2015.2428618
4. Fan K, Cai M, Liu H, Zhang Y. Capturing energy from ultra-low frequency vibrations and human motion through a monostable electromagnetic energy harvester. Energy [Internet]. 2019 Feb 15;169:356–368. DOI: 10.1016/j.energy.2018.12.053
5. Forti V, Baldé CP, Kuehr R, Bel G. The Global E-waste Monitor 2020 [Internet]. Bonn; 2020 [citado 2022 Mar 8]. Disponible en: [https://ewastemonitor.info/wpcontent/uploads/020/11/GEM\\_2020\\_def\\_july1\\_low.pdf](https://ewastemonitor.info/wpcontent/uploads/020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf)
6. Kumar CN. Energy collection via Piezoelectricity. In: Journal of Physics: Conference Series 662 012031. Institute of Physics Publishing [Internet]. 2015. DOI: 10.1088/1742-6596/662/1/012031
7. Casanova Gómez M. Sistemas de Cosecha de Energía para Sistemas Electrónicos Autónomos [Internet]. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos; 2014. Disponible en: <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/12062?locale-attribute=de>
8. Fan K, Liu Z, Liu H, Wang L, Zhu Y, Yu B. Scavenging energy from human walking through a shoe-mounted piezoelectric harvester. Applied Physics Letters [Internet]. 2017 Apr 3;110(143902). DOI: 10.1063/1.4979832
9. Kim SJ, Lee HE, Choi H, Kim Y, We JH, Shin JS, et al. High-Performance Flexible Thermoelectric Power Generator Using Laser Multiscanning Lift-Off Process. ACS Nano [Internet]. 2016 Dec 27;10(12):10851–10857. DOI: 10.1021/acsnano.6b05004
10. Yamashita T, Hayashi T, Iwasaki H, Awatsu M, Yokoyama H. Ultra-low-power energy harvester for microbial fuel cells and its application to environmental sensing and long-range Wireless data transmission. Journal of Power Sources [Internet]. 2019 Aug 1;430:1–11. DOI: doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.04.120
11. Clemente CS, Davino D. Overview on Energy Harvesting Materials. In: Encyclopedia of Smart Materials. Elsevier [Internet]. 2022;2:483–502. DOI: 10.1016/B978-0-12-815732-9.00007-3
12. Ostfeld AE, Arias AC. Flexible photovoltaic power systems: Integration opportunities, challenges and advances. Flexible and Printed Electronics. Institute of Physics Publishing [Internet]. 2017 Mar 6; 2(1). DOI: 10.1088/2058-8585/aa5750
13. Srivastava RK, Boddula R, Pothu R. Microbial fuel cells: Technologically advanced devices and approach for sustainable/renewable energy development. Energy Conversion and Management: X [Internet]. 2022 Jan 1;13(100160). DOI: 10.1016/j.ecmx.2021.100160
14. Xu C, Song Y, Han M, Zhang H. Portable and wearable self-powered systems based on emerging energy harvesting technology. Vol. 7, Microsystems

and Nanoengineering. Springer Nature [Internet]. 2021; 7(25). DOI: 10.1038/s41378-021-00248-z

15. Suarez F, Parekh DP, Ladd C, Vashaee D, Dickey MD, Öztürk MC. Flexible thermoelectric generator using bulk legs and liquid metal interconnects for wearable electronics. *Applied Energy* [Internet]. 2017 Sep 15; 202:736–45. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.05.181

16. Misra V, Bozkurt A, Calhoun B, Jackson T, Jur J, Lach J, et al. Flexible technologies for self-powered wearable health and environmental sensing. *Proceedings of the IEEE*. 2015 Apr 1;103(4):665-81. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2412493

17. Garcia-Valverde R, Villarejo JA, Hösel M, Madsen M v., Søndergaard RR, Jørgensen M, et al. Scalable single point power extraction for compact mobile and stand-alone solar harvesting power sources based on fully printed organic photovoltaic modules and efficient high voltage DC/DC conversion. *Solar Energy Materials and Solar Cells* [Internet]. 2016 Jan 9; 144:48–54. DOI: 10.1016/j.solmat.2015.08.020

18. Calautit K, Nasir DSNM, Hughes BR. Low power energy harvesting systems: State of the art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Internet]. 2021 Sep 1;147(111230). DOI: 10.1016/j.rser.2021.11123

## La energía solar en la hidroponía: Una revisión

### Solar energy in hydroponics: A review

Jesús Chachi-Rodríguez

Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.

Contacto: [100032798@cientifica.edu.pe](mailto:100032798@cientifica.edu.pe)

#### Abstract

Hydroponic systems provide business opportunities and food security to areas with water scarcity and extreme climates. This study aimed to describe the use of solar energy with hydroponic systems. The results showed technologies to control environmental factors, water management, and energy management. Despite these advantages, new technologies have limitations at a commercial level.

**Keywords:** hydroponics, solar power, water, energy, arduino

#### Resumen

Los sistemas hidropónicos brindan oportunidades comerciales y seguridad alimentaria a áreas con escasez de agua y climas extremos. Este estudio tuvo como objetivo describir el uso de la energía solar con sistemas hidropónicos. Los resultados mostraron tecnologías para el control de los factores ambientales, la gestión del agua y la gestión de la energía. A pesar de estas ventajas, las nuevas tecnologías tienen limitaciones a nivel comercial.

**Palabras clave:** hidroponía, energía solar, agua, energía, arduino

### 1. Introducción

La agricultura urbana y periurbana aportan a la seguridad alimentaria, mantenimiento de las áreas verdes y desarrollo comunitario mediante el abastecimiento a comedores populares, recuperación de espacios abandonados y la incorporación social (1). Por tal razón, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) lo orienta hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Principalmente al ODS 11: "Ciudades y Comunidades Sostenibles" (2,3).

En Latinoamérica priorizamos la seguridad alimentaria, aporte económico y el rescate de las costumbres (1). El programa "Patios Productivos" de la Fundación Granitos de Paz en Cartagena (Colombia) impactó a casi 6 mil personas, generando negocios complementarios como la elaboración de comidas o venta de fertilizantes (4). En Lima (Perú) la plataforma agricultura urbana de Lima (PAUL) apoyo la certificación de la agricultura urbana en la Asociación de Productores Ecológicos del Valle Chillón (APEVCH) y la Red de Comités

Ambientales de Villa el Salvador (REDAVES) (3).

Las ventajas de la hidroponía frente a la agricultura en suelo ofrecen la oportunidad de ampliar la agricultura urbana a espacios donde el suelo no está disponible (5). En Lima (Perú) debido a la baja calidad del suelo, pocos espacios verdes y el difícil acceso al agua de riego; la hidroponía adquirió relevancia. Alrededor de 1996, el Fondo de Hidroponía Familiar (FONHIDROF) apoyó los negocios familiares; sin embargo, no llegaron a abastecer la demanda de manera permanente (6).

Gestionar un sistema hidropónico abarca cierta complejidad. Tecnificar el bombeo, sensores y ventilación requiere un costo energético (5). Las energías renovables cumplen tal rol importante, asimismo prevenir interrupciones de energía. El artículo tiene como objetivo describir los resultados del empleo de la energía solar en la hidroponía.



## 2. Sistemas Hidropónicos

La hidroponía consiste en usar una solución mineral con nutrientes para los cultivos. Los beneficios son menor uso de agua, control de factores ambientales y nutrientes, mejor tasa de crecimiento e integración con energías renovables (5). Se categorizan en cultivos en sustrato o en solución. La segunda categoría agrupa diversas técnicas (Tabla 1). Bezuidenhout W citado por Sengodan P (7) considera que la técnica de flujo laminar de nutrientes es la más rentable por el uso de agua y fertilizantes, tasa de crecimiento, higiene, costo operacional, y simplicidad constructiva y operativa.

El costo energético es mayor debido al uso de diversos equipos. El equipo de bombeo es indispensable para la aireación o riego de la solución nutritiva. Dependiendo de las condiciones del entorno se requiere de otros equipos para el control de factores ambientales como temperatura, humedad del aire, concentración de CO2 e intensidad de luz (5,8). En caso la luz del sol no llegue a incidir al sistema se emplean luces

Tabla 1. Técnicas empleadas en el cultivo en solución

| Técnicas          | Variantes                   |
|-------------------|-----------------------------|
| De flujo continuo | Flujo laminar de nutrientes |
|                   | De flujo profundo           |
| Estático          | Inmersión de raíz           |
|                   | Raíz flotante               |
|                   | De acción capilar           |
| Aeroponía         | -                           |

Nota. Cada técnica favorece a ciertos tipos de cultivo. Adaptado de Khan FA (5).

Tabla 2. Sistemas activos de captación solar empleados en invernaderos

| Categorías                    | Variantes                           |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Módulo fotovoltaico           | Tradicionales                       |
|                               | Semitransparente                    |
|                               | Bifacial                            |
|                               | De concentración                    |
|                               | Con concentrador solar luminiscente |
| Colector solar                | De placa plana                      |
|                               | De tubos de vacío                   |
| Módulo térmico - fotovoltaico | De concentración*                   |
|                               | De placa plana                      |
|                               | Semitransparente                    |
|                               | Opaco                               |

Nota. Sugerido para invernaderos con climas fríos (\*). Adaptado de Gorijian S, Calise F, Kant K, Ahamed MS, Copertaro B, Najafi G, et al. (8)

artificiales de crecimiento.

## 3. Captación de la energía solar

En los invernaderos, los sistemas pasivos se emplean para el control del microclima. Aprovechan la energía térmica mediante tanques de agua, lecho de roca o materiales con cambio de fase (9). Los sistemas activos pueden aprovechar la energía térmica y fotovoltaica mediante diversos sistemas (tabla 2). Presentan mayores alternativas de montaje en los techos y paredes, sin embargo, se debe considerar la cantidad de incidencia de luz hacia los cultivos (8). Los módulos fotovoltaicos presentan dos configuraciones off- grid y on-grid. La primera es útil en espacios rurales sin acceso a la red eléctrica y dirige el excedente de energía a las baterías, mientras que el segundo dirige el excedente a la red (8). Aunque la generación distribuida permite un suministro estable, es comercialmente poco atractivo debido al elevado costo de capital y tiempo prolongado de amortización. Por tal razón, el estado apoya a agricultores mediante subsidios (8,10).

4. Metodología

Para la revisión sistemática se utilizó el protocolo de Denyer y Tranfield (11). El alcance del estudio está definido en base a las preguntas: ¿Cuál es el área de estudio? ¿En qué aspectos de la hidroponía emplearon los sistemas de captación de energía solar? ¿Qué cambios se registraron? ¿Con qué cultivos se realizó el estudio? En la base de datos Scopus, empleamos los términos: “solar energy” AND “hydroponic system” (“irrigation” OR “sensors”). Para seleccionar los estudios deben estar alineados al tema y, en caso de que el tema involucre invernaderos, el caso de estudio debe especificar que la evaluación se realizó en un sistema hidropónico.

5. Resultados y Discusión

Los resultados demuestran que es posible la integración de las energías renovables con la hidroponía y van de acuerdo con lo indicado por Khan FA como beneficios de la hidroponía (5). Las aplicaciones se realizaron en pequeños sistemas (13–15,18).

En pocos casos se evaluó aspectos financieros y a nivel comercial (12,16,17). Las aplicaciones se categorizan en el control de los factores ambientales, gestión del agua y gestión de energía.

Si bien se presenta como alternativa para el bombeo de agua (14), las aplicaciones se diversifican con la integración de tecnologías para automatizar el riego (13), medir la humedad (13), temperatura, voltaje (15), entre otros; mediante el uso de Arduino. Casos particulares fueron un sistema de calentamiento de la zona de raíces (16) y el reciclaje de efluentes (12).

Aunque se presentan diversos avances tecnológicos en los paneles solares (8), la mayoría de los estudios usaron paneles solares tradicionales (12–16,18). Es posible que se deba a un énfasis en apoyar a la población de escasos recursos (13,14). En algunos casos se evaluaron sistemas on-grid (15,17), sistemas off-grid (13) y módulos con seguimiento (18). Un caso particular evaluó módulos instalados en los techos e identificó dificultades a nivel comercial con un tiempo de amortización entre 20 - 52 años (17).

Tabla 3. Aplicaciones de la energía solar en la hidroponía

| Área de estudio              | Categoría                       | Aspecto                                  | Resultados   | Cultivo  | Referencia |
|------------------------------|---------------------------------|--|--|--|------------|
| Almería, España              | Gestión del agua                | Tratamiento de efluentes                 | Reducción del 72% de eutrofización                     | Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L. Var. Ramyle y Var. Racymo) | (12)       |
|                              |                                 |  | Aumento promedio del 37% en otros impactos ambientales |  |            |
| Comunidades rurales de Ghana | Riego automatizado              |  | -  | -  | (13)       |
| Stellenbosch, Sudáfrica      |                                 |  | Producción de 3.4 kg por semana en 4 m²                | Acelga ( <i>Beta vulgaris</i> )                                    |            |
| Perlis, Malaysia             | Gestión de la energía           | Control del voltaje                      | Ahorro del 45% en energía                              | -  | (15)       |
| Thessaloniki, Greece         | Control de factores ambientales | Control de la temperatura de las raíces. | Aumento de producción de hasta un 18.9%. *             | Rucula ( <i>Eruca sativa</i> M.)                                   | (16)       |
|                              |                                 |  | Aumento de producción hasta un 31.4 %. *               | Lechuga baby ( <i>Lactuca sativa</i> L.)                           |            |
| -                            |                                 | Menor intensidad de luz                  | Perdidas hasta un 25% de la producción anual           | Cebollín ( <i>Allium fistulosum</i> L. cv. Natsuhiko)              | (17)       |

|                            | Control de factores ambientales | Control de la temperatura, humedad.      |                                  |      |
|----------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|------|
| Lima Puluh Kota, Indonesia | Gestión de la energía           | Seguimiento solar y controlador de carga | Generación de 380 watts por día. | -    |
|                            | Gestión del agua                | Riego automatizado                       |                                  | (18) |

Nota. Solo para climas extremos (\*)

6. Conclusiones

El empleo de la energía solar en los sistemas hidropónicos permite la posibilidad de mejorar el control de los factores ambientales, la gestión del agua y gestión de la energía mediante su integración con tecnologías como el Arduino. Una limitante para el empleo de nuevas tecnologías de captación solar para la hidroponía son los costos. Como recomendación, pueden evaluarse otros sistemas de captación solar a nivel comercial. El módulo térmico-fotovoltaico demuestra ser prometedor para climas extremos.

Bibliografía

1. Ávila-Sánchez H. Agricultura urbana y periurbana: Reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. Investigaciones Geográficas [Internet]. 2019 abr;98. DOI: 10.14350/rig.59785
2. Pastor JA. La agricultura urbana se abre paso en las ciudades del futuro [Internet]. [lugar desconocido]: Red 2030. 2020 [citado 2022 may 24]. Disponible en: <https://red2030.com/la-agricultura-urbana-se-abre-paso-en-las-ciudades-del-futuro/>
3. Calle A, Mena J, Beaulieu M-A, Urbina P, Hachler P. Agricultura urbana. Un paso hacia una ciudad sostenible [Internet]. 2019;35(3):11-4. Disponible en: <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-35-numero-3/3964-agricultura-urbana-un-paso-hacia-una-ciudad-sostenible>
4. Hernández JS, Arbeláez DAC, Carrillo CJB. Programas de agricultura urbana como estrategia para la generación de modelos de negocios inclusivos. Aglala [Internet]. 2019;10(1):196-220. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7045885>

5. Khan FA. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences [Internet]. 2018 Abr 10;2(2):59-66. DOI: 10.31015/jaefs.18010
6. Promoción del Desarrollo Sostenible (IPES). Agricultura urbana con tecnología hidropónica en Lima, Perú. Revista Agricultura Urbana [Internet]. 2013 Dec; 10:12-13. Disponible en: <https://ruaf.org/assets/2020/01/RAU10.pdf>
7. Sengodan P. An Overview of Vertical Farming: Highlighting the Potential in Malaysian High-Rise Buildings. JST [Internet]. 2022 Mar 3;30(2):949-981. DOI: 10.47836/pjst.30.2.06
8. Gorjian S, Calise F, Kant K, Ahamed MS, Copertaro B, Najafi G, et al. A review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses. Journal of Cleaner Production [Internet]. 2021 Jan 20; 285:124807. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124807
9. Sethi VP, Sharma SK. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. Solar Energy [Internet]. 2008 sep 1;82(9):832-859. DOI: 10.1016/j.solener.2008.02.010
10. Xu Z, Elomri A, Al-Ansari T, Kerbache L, El Mekrawy T. Decisions on design and planning of solar-assisted hydroponic farms under various subsidy schemes. Renewable and Sustainable Energy Reviews [Internet]. 2022 mar 1;156:111958. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111958
11. Denyer D, Tranfield D. Producing a systematic review. En: The Sage handbook of organizational research methods. Thousand Oaks, CA: Sage Publications Ltd; 2009. 671-689. Disponible en: <https://www.cebma.org/wp-content/uploads/Denyer-Tranfield-Producing-a-Systematic-Review.pdf>

12. Martin-Gorriz B, Maestre-Valero JF, Gallego-Elvira B, Marín-Membrive P, Terrero P, Martínez-Alvarez V. Recycling drainage effluents using reverse osmosis powered by photovoltaic solar energy in hydroponic tomato production: Environmental footprint analysis. *Journal of Environmental Management* [Internet]. 2021 nov 1;297:113326. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113326
13. Akom K, Joseph MK, Shongwe TC, Mabunda N. Arduino Yun Assisted Photovoltaic-Powered Hydroponics Systems for Rural Communities in Ghana. En: 2019 IEEE AFRICON [Internet]. 2019; 1-8. DOI: 10.1109/AFRICON46755.2019.9134012
14. Combrink NJJ, Harms TM. The use of solar energy for a small recirculating hydroponic system. *Acta Horti* [Internet]. 2001 Jun; 554:285-288. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.554.30
15. Hussin NSM, Amin N, Safar M, Majid MSA, Nasir NM. Smart Hydroponic System with Hybrid Power Source. *Journal of telecommunication, electronic and computer engineering* [Internet]. 2018 may 30;10:35-39. Disponible en: <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/3988>
16. Karnoutsos P, Karagiovannidis M, Bantis F, Chatzistathis T, Koukounaras A, Ntinis GK. Controlled root-zone temperature effect on baby leaf vegetables yield and quality in a floating system under mild and extreme weather conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [Internet]. 2021;101(9):3933-3941. DOI: 10.1002/jsfa.11033
17. Kadowaki M, Yano A, Ishizu F, Tanaka T, Noda S. Effects of greenhouse photovoltaic array shading on Welsh onion growth. *Biosystems Engineering* [Internet]. 2012 mar 1;111(3):290-297. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2011.12.006
18. Putera P, Aulia Novita S, Laksmana I, Imran Hamid M, Syafii S. Development and Evaluation of Solar-Powered Instrument for Hydroponic System in Limapuluh Kota, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* [Internet]. 2015;5(5):284-288. DOI: 10.18517/ijaseit.5.5.566

# Los avances en la generación de energía a partir de Recursos Energéticos Renovables (RER) en el Perú

Advances in power generation from Renewable Energy Sources (RES) in Peru

Ana Ramos Monzon

Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Peru.

Contacto: [anaramos1824@gmail.com](mailto:anaramos1824@gmail.com)

## Abstract

Projects based on Renewable Energy Sources (RES) in Peru began in 2008 with the creation of a legal framework for adjudication through auctions. A total of four on-grid and one off-grid auction were done, generated 64 projects awarded for the first case and one for the second. At the end of 2018, 45 projects were operating, producing 3,674 MW. It was 7.2 % of the total electricity production of the Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN). The country has ample potential to develop projects based on RER; however, to date, the percentage of installed power in the SEIN concerning usable technical power is less than 8% in the categories: hydro, wind, solar, biomass, and geothermal. The main limitations are the fixing of tariffs in the auctions and the weakness of the state institutions and matter policies.

**Keywords:** projects, renewable energy sources, progress, potentialities, limitations

## Resumen

Los proyectos basados en Recursos Energéticos Renovables (RER) en Perú iniciaron en 2008 con la creación de un marco legal para la adjudicación mediante subastas. Se realizaron en total cuatro subastas on-grid y una off-grid, generando 64 proyectos adjudicados para el primer caso y una para el segundo. A finales del 2018, operaban 45 proyectos produciendo, 3674 MW. Esto represento el 7.2 % del total de producción eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN). El país tiene amplio potencial para desarrollar proyectos basados en RER; sin embargo, a la fecha, el porcentaje de potencia instalada en el SEIN con respecto a la potencia técnica aprovechable es menor al 8 % en las categorías: hidráulica, eólica, solar, biomasa y geotermia. Las principales limitaciones son la fijación de las tarifas en las subastas, la debilidad de las instituciones estatales y políticas en la materia.

**Palabras clave:** proyectos, recursos energéticos renovables, avance, potencialidades, limitaciones

## 1. Introducción

En el Perú, el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de recursos energéticos renovables (RER) se inició en 2008 con la creación de un marco normativo especial (1). El marco normativo estableció las subastas como mecanismo para promover las tecnologías de RER y definió un marco legal para su desarrollo (2). Desde entonces se ha logrado generar un efecto positivo en la calidad de vida de la población y la protección del ambiente (3).

El país cuenta con una matriz de generación eléctrica que fue tradicionalmente baja en cuanto

a emisiones de carbono debido principalmente a la importante generación hidroeléctrica (4). Hasta el año 2000 la generación hidroeléctrica representaba aproximadamente el 80% (1). Sin embargo, sigue teniendo retos importantes en materia energética, principalmente en cuanto al acceso por parte de toda la población del territorio nacional. Debido a factores como aislamiento geográfico, condiciones topográficas, demanda dispersa y baja demanda de energía por usuario; lo que hace que las obras de electrificación sean costosas, generando en mucho de los casos que las inversiones necesarias no alcancen un nivel aceptable de rentabilidad haciéndolo poco atractivo

para la inversión privada, por lo que requiere de inversión estatal en forma de programas y subsidios dedicados (4–7). En ese sentido, la generación de energía eléctrica a partir de RER juega un papel crucial frente a los múltiples desafíos que el país enfrenta en materia energética, contribuyendo principalmente a la generación distribuida y la reducción de emisiones de carbono (8–12). Por lo que se hace necesario conocer los avances logrados desde el inicio del desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de RER, hasta la actualidad.

Los RER están definidos en la normativa peruana como los recursos energéticos tales como biomasa, eólico, solar, geotérmico, mareomotriz e hidráulica cuando la capacidad instalada no sobrepasa de los 20 MW (2). Las subastas son un proceso de concurso público convocado y conducido por el Organismo de Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin) que tienen como finalidad asignar la tarifa de adjudicación a cada proyecto de generación RER hasta cubrir la energía requerida en sus bases. Con este mecanismo se busca promocionar la inversión para la generación de electricidad con los RER para lograr diversificar la matriz energética (1). Desde el 2009 hasta la actualidad se han llevado a cabo cuatro subastas RER para el Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN) y una subasta RER fuera de la red interconectada (3). Con lo que se ha logrado que el 8 % del parque generador esté compuesto por RER. Las cuatro subastas han dado como resultado la presentación de 249 proyectos, de los cuales 64 han sido adjudicados y 43 ya se encuentran en operación comercial (3).

La generación de energía a partir de RER debido a su potencial tienen un rol vital en la mitigación del cambio climático, reducir los efectos negativos de los combustibles fósiles en el ambiente y la salud, así como disminuir el grado de exposición a cambios en el precio internacional del petróleo, llevar energía eléctrica a zonas rurales y aisladas, garantizar el suministro eléctrico para el crecimiento económico de siguientes años, generar suficiente energía para la electrificación de las actividades principales y asegura que todo este incremento en la producción se realice con el menor impacto ambiental posible (7,8,10–14).

En tal sentido, el presente estudio pretende evaluar los avances logrados en cuanto al desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de RER analizándolos por el tipo de fuente de energía, escala de desarrollo del proyecto y lugar de ubicación. Para luego evaluar

su coherencia con las potencialidades que el territorio nacional presenta para cada tipo de fuente de energía e identificar las posibles limitantes para su desarrollo.

## **2. Metodología**

La evaluación de los avances se desarrolló con base en la revisión de la información publicada en los reportes emitidos por Osinergmin en el año 2017 y en el año 2019, los que comprenden un recuento de los avances logrados en materia de energía renovable como país. Se resumió y clasificó la información provista en el reporte por el tipo de fuente de energía, escala de desarrollo del proyecto y lugar de ubicación. Además, se identificó el potencial de aprovechamiento de los recursos energéticos tales como biomasa, eólico, solar, geotérmico, mareomotriz e hidráulica en el territorio nacional, también presentados en el reporte, y se comparó la concordancia de estos con la ubicación del desarrollo de los proyectos de aprovechamiento por tipo de RER a escala departamental. A partir de esto fue posible conocer el avance en el aprovechamiento del potencial del territorio nacional por tipo de RER mediante el desarrollo de proyectos.

Finalmente, se identificó las posibles limitaciones realizando una revisión del contexto con la metodología del análisis PEST.

## **3. Resultados y Discusión**

### **3.1. Avances de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de RER**

Desde la emisión del marco regulatorio para promover la generación de energía eléctrica a partir de RER en el 2008, se han desarrollado cuatro procesos de subasta para el SEIN, en los años 2009-2010, 2011, 2013 y 2015, respectivamente; así como un proceso de subasta RER off-Grid en el año 2013. Las subastas para el SEIN adjudicaron 64 proyectos, los que se detallan en la Tabla 1; mientras que la subasta off-Grid permitió adjudicar en el 2014 una licitación a la empresa Ergon Perú S.A.C. para suministrar electricidad con sistemas fotovoltaicos a aproximadamente 15 mil localidades de las zonas rurales del norte, centro y sur del país que no cuentan con redes tradicionales de electricidad.

Mediante las subastas se adjudicaron contratos a proyectos que deben ingresar a operación



comercial dentro de un plazo de tiempo establecido como fecha máxima, en estricto, usualmente tres años a futuro (2). Sin embargo, en estricto los plazos no han sido cumplidos, siendo que, hasta finales del año 2018, el Perú contó un total de 42 proyectos RER a nivel nacional. La producción eléctrica de las centrales RER creció a una tasa anual de 47.4 % para el periodo 2009-2018 (75 MW a 3674 MW), llegando a representar el 7.2 % del total de la producción eléctrica del SEIN. El 2.9 % de producción de fuente eólica, 2.5 % de fuente minihidráulica, 1.5 % de fuente solar y 0.3 % de biomasa. El 92.8 % restante proviene de fuentes como la hidráulica a gran escala (55.2 %), gas natural (37.2 %) y de otras fuentes como residuos, carbón y diésel (0.3 %).

**Proyectos de generación de energía eléctrica a partir de RER y las potencialidades del territorio peruano**

En cuanto a energía solar, el atlas de energía solar del Perú muestra que la región con los mayores recursos se encuentra a lo largo de la costa meridional de Arequipa, Moquegua y Tacna. Es en estas zonas donde se alcanza una radiación media diaria anual de alrededor de 250 vatios por metro cuadrado (W/m2) (1,3). Por lo que en estos departamentos se encuentran ubicadas las siete centrales solares con tecnología fotovoltaica con las que cuenta el país, dos en Arequipa, cuatro en Moquegua y una en Tacna.

En lo que respecta a energía eólica, se estima que Perú tiene un potencial de energía eólica de 77 000

**Tabla 1.** Proyectos de generación de energía eléctrica a partir de RER adjudicados mediante subastas para el SEIN.

| Tecnología   | Proyectos | Capacidad (MW) | Inversión (MM US\$) |
|--------------|-----------|----------------|---------------------|
| Mini Hidro   | 45        | 566.1          | 963                 |
| Biogás       | 4         | 10.4           | 16.1                |
| Eólica       | 7         | 394            | 567.2               |
| Solar        | 7         | 280.5          | 379.3               |
| Biomasa      | 1         | 23             | 31                  |
| <b>Total</b> | <b>64</b> | <b>1274</b>    | <b>1956.6</b>       |

Fuente. MEM y OSINERGMIN

MW, de los cuales más de 22 000 MW se podrían explotar. Este potencial se ubica en la costa del Perú, debido a la fuerte influencia del anticiclón del Pacífico y de la Cordillera de los Andes, que generan vientos provenientes del suroeste en toda la región costera (1,3). Por lo que cinco parques eólicos están distribuidos en la costa peruana, tres en Ica, uno en La Libertad y uno en Piura.

Uno de los RER con considerable potencial, pero que no logro desarrollo en el país, es la energía geotérmica. Perú forma parte del Anillo de Fuego del Pacífico, que se caracteriza por frecuentes movimientos tectónicos. Al evaluar 61 posibles yacimientos, el estudio realizado por el Organismo Japonés de Cooperación Internacional descubrió que tiene un potencial geotérmico de unos 3000 MW (1). Los campos geotérmicos de mayor potencial en el Perú serían: Cajamarca, La Libertad, el Callejón de Huaylas, Churín, la Zona Central, Cadena Volcánica del Sur, Puno y Cusco (3).

En cuanto al aprovechamiento de la energía del mar, se puede distinguir entre energía undimotriz, mareomotriz y conversión de energía térmica de los océanos (3). En Perú, la primera, presenta que la potencia media oscila entre 15 kW/h y 25 kW/h.

En el segundo caso, el área de rango de marea se incrementa de sur a norte. Para el tercer caso, el Perú presenta un potencial reducido, dado que la temperatura superficial aumenta en las regiones del norte del país, siendo la mayor parte de la costa peruana bañada por una corriente fría proveniente del sur (1,3). En el país no se ha desarrollado el aprovechamiento de la energía del mar.

**Posibles factores limitantes para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de RER**

Sin una adecuada gestión, el ingreso de proyectos RER puede generar problemas en la calidad de flujo, estabilidad y balance del sistema interconectado, por lo que la introducción de nuevos proyectos está condicionado a la factibilidad técnica del operador del sistema interconectado estimándose que es posible una generación de hasta 20-35 % de generación renovable sin requerimiento de cambios en el sistema (1,3,14). Así mismo, por su naturaleza, en particular energías como la eólica y la solar, no se encuentran disponibles de forma constante; sin embargo, esto último puede solucionarse utilizándolas como complemento de la energía

hidráulica y con sistemas de almacenamiento, cuyo precio muestra una tendencia decreciente a nivel internacional y local (6,14).

Las tarifas fijadas en el sistema de subastas dan lugar a la crítica debido a que ha impactado directamente en la tarifa final del usuario, sin embargo, en los últimos años los precios de algunas tecnologías RER se han vuelto tan competitivas debido principalmente al desarrollo de nueva y la masificación del desarrollo de tecnologías para su aprovechamiento, siendo el caso que incluso tecnologías como la solar y la eólica pueden competir sin existencia de subsidio por parte del estado (1,3).

La tendencia global es hacia la transición energética y la generación distribuida de RER por lo que las políticas exteriores están orientadas al logro de estos objetivos impulsando a los estados del mundo a la toma de acción (12–14), por lo que aunque aún es necesario, en el caso del Perú el fortalecimiento de las políticas que enmarcan el desarrollo de los RER de manera que impulsen y regulen su desarrollo, se ha venido avanzando de forma favorable brindando incentivos como: prioridad en el despacho diario de carga el que lo realiza el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, prioridad para conectarse a las redes eléctricas de transmisión y distribución, tarifas establecidas a largo plazo determinadas mediante subastas y fondos de financiamiento para el desarrollo de investigación y proyectos de generación eléctrica con RER (2). Así mismo, aunque el desarrollo de RER genera menor conflictividad social respecto al desarrollo de otro tipo de proyectos, se hace necesario el fortalecimiento de las instituciones encargadas de gestionarlos a fin de prevenirlos (8,10).

## Conclusiones

En el Perú se han llevado a cabo cuatro subastas on-grid y una off-grid generando 64 proyectos adjudicados para la primera y un proyecto para la segunda. Hasta finalizar el 2018 operaban 42 proyectos produciendo, 3674 MW con energías renovables y aportando el 7.2 % del total de la producción eléctrica del SEIN. Estos porcentajes han venido creciendo con la entrada en operación de los distintos proyectos adjudicados en las cuatro subastas RER. El Perú cuenta con amplio potencial para desarrollar proyectos basados en RER; sin embargo, a la fecha, el porcentaje de potencia instalada en el SEIN con respecto a la potencia técnica aprovechable es 7.12 % (total hidráulico), 1.83 % (eólico), 1.14 % (solar), 7.88 % (biomasa) y 0 % (geotermia). Las principales limitaciones

para el desarrollo de proyectos basados en RER son la fijación de las tarifas en las subastas, la debilidad en las instituciones estatales y la necesidad del fortalecimiento de las políticas en la materia.

## Bibliografía

1. OSINERGMIN. La Industria de la Energía Renovable en el Perú, 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático [Internet]. Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. 2017 feb. 309 p. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)
2. Decreto Legislativo N°1002 de 2010 [Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería]. De promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Mayo 2 de 2008.
3. OSINERGMIN. Energías Renovables: Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú Hacia la Transición Energética [Internet]. Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. 2019. 279 p. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documento/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)
4. Rijssenbeek W. Trust fund for renewable energy in Peru. Energy Sustain Dev [Internet]. 1996 May;3(1):7–8. DOI: 10.1016/S0973-0826(08)60174-X
5. Juanpera M, Domenech B, Ferrer-Martí L, Garzón A, Pastor R. Renewable-based electrification for remote locations. Does short-term success endure over time? A case study in Peru. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2021 Aug;146:111177. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111177
6. Amjith L, Bavanish B. A review on biomass and wind as renewable energy for sustainable environment. Chemosphere [Internet]. 2022 Apr;293:133579. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.133579
7. Lucas H, del Río P, Cabeza LF. Stand-alone renewable energy auctions: The case of Peru. Energy Sustain Dev [Internet]. 2020 Apr;55:151–160. DOI: 10.1016/j.esd.2020.01.009

8. Lillo P, Ferrer-Martí L, Juanpera M. Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru, Ecuador and Bolivia. *Energy Res Soc Sci* [Internet]. 2021 Oct;80:102222. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102222
9. Yadoo A, Cruickshank H. The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. *Energy Policy* [Internet]. 2012 Mar;42:591–602. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.12.029
10. Lillo P, Ferrer-Martí L, Boni A, Fernández-Baldor Á. Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: Case study in Peru. *Energy Sustain Dev* [Internet]. 2015 Apr;25:17–26. DOI: 10.1016/j.esd.2014.11.003
11. Rios R, Duarte S. Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. *Renew Sustain Energy Rev*. 2021 Oct;149:111310. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111310
12. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El mundo necesita una rápida transición a la energía sostenible [Internet]. [lugar desconocido]: CMNUCC; 2021 Jan 19. Disponible en: <https://unfccc.int/es/news/el-mundo-necesita-una-rapida-transicion-a-la-energia-sostenible>
13. Torul Yürek Y, Bulut M, Özyörük B, Özcan E. Evaluation of the hybrid renewable energy sources using sustainability index under uncertainty. *Sustain Energy, Grids Networks* [Internet]. 2021 Dec;28:100527. DOI: 10.1016/j.segan.2021.100527
14. Miao Y, Razzaq A, Adebayo TS, Awosusi AA. Do renewable energy consumption and financial globalisation contribute to ecological sustainability in newly industrialized countries? *Renew Energy* [Internet]. 2022 Mar; 187:688-697. DOI: 10.1016/j.renene.2022.01.073

## **“Problemas de la logística inversa en la gestión de los RAEE”: Una revisión sistemática entre los años 2015-2021**

" Problems of reverse logistics in the management of WEEE": A systematic review between the years 2015-2021

Gutierrez Garrido, Angela Ximena  
Universidad Privada del Norte, Lima, Perú  
Contacto: [a.ximenagutierrez@gmail.com](mailto:a.ximenagutierrez@gmail.com)

---

### **Abstract**

This article aims to identify and characterize reverse logistics problems that differ in the proper WEEE's management. It did descriptive theory search with inclusion criteria and search equations. It used databases of ProQuest, Redalyc, Scielo, and Google Scholar. It identified and characterized six reverse logistics problems that differ in the proper management of WEEE, and four were interpreted with a more significant number of related articles. In conclusion, the main issues of reverse logistics that differ in the proper management of WEEE were the lack of user awareness, lack of specialized management tools and adequate technology, scarce legal regulations, and ignorance of economic opportunities.

**Keywords:** reverse logistics, management of electrical and electronic waste equipment, impediments.

### **Resumen**

El presente artículo tiene como objetivo identificar y caracterizar los problemas de la logística inversa que difieren en la adecuada gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Para ello, se realizó una búsqueda de teoría descriptiva que incluyó criterios de inclusión y ecuaciones de búsqueda. Se usó las bases de datos de ProQuest, Redalyc, Scielo y Google Académico. Se identificaron y caracterizaron 6 problemas de la logística inversa que difieren en la adecuada gestión de los RAEE y se interpretó 4 de ellas con mayor cantidad de artículos relacionados. En conclusión, los principales problemas de la logística inversa que difieren en la adecuada gestión de los RAEE fueron la falta de concientización de los usuarios, falta de herramientas de gestión especializados y tecnología adecuada, escasa normativa legal y el desconocimiento de las oportunidades económicas.

**Palabras clave:** logística inversa, gestión de aparatos de residuos eléctricos y electrónicos, problemas.

### **1. Introducción**

La tecnología en diversas industrias ha logrado mejorar la calidad de vida de las personas. No obstante, en las últimas décadas la industria de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) se ha destacado en suplir la demanda creciente de la necesidad de recibir información y compartirla. Esto se refleja en el consumo masivo de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) (1) incrementando el número de estos equipos, así como la velocidad de generación de sus desechos denominados RAEE (2).

Estos residuos tienen un crecimiento anual del 5 % y son catalogados como peligrosos para la salud humana y de impacto negativo al ambiente (2). Por lo tanto, requieren un manejo adecuado, especialmente cuando alcancen su vida útil (3). La adopción de políticas eficientes estatales, la elaboración de propuestas, modelos y estrategias para mitigar el impacto ambiental a través de las actividades de recuperación y reutilización de estos residuos, se logra ejecutar por medio de la logística inversa (4).

Se define la logística inversa como el conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y procesamiento de productos que alcanzaron el final de su vida útil, con la finalidad de maximizar su valor en un enfoque sostenible (1). Abarca actividades de planificación y control de flujos inversos de los recursos manejados por la organización a lo largo de la cadena de suministro, desde la fabricación de los AEE, hasta la reintegración de los RAEE mediante los procesos más adecuados según sus características como el reprocesamiento, reutilización, reciclaje o disposición final (5).

En las últimas décadas, en América Latina el crecimiento de la población y urbanización se ha visto reflejado en un incremento de los RAEE derivados de celulares, computadoras y electrodomésticos (6). Sin embargo, por las escasas políticas públicas que se orienten a una adecuada disposición de estos residuos, las personas quedan expuestas a componentes potencialmente tóxicos. La adecuada disposición de estos puede ser una gran oportunidad de negocio debido a la presencia de materiales valiosos que pueden utilizarse para su comercialización (6,7).

De ese modo, el objetivo de esta revisión sistemática fue identificar y caracterizar los problemas de la logística inversa que difieren en la adecuada gestión de los RAEE.

2. Logística Inversa

Se define como “el proceso que incluye etapas de planificación, implementación y control en la gestión de flujos de material e información desde el consumidor hasta el origen, logrando recuperar valor asociado o la correcta disposición de los RAEE” (5). Un modelo para la gestión de estos

residuos mediante la logística inversa se muestra en la Figura 1. Los beneficios recaen en el carácter ambiental, empresarial y la productividad: mejora la relación entre distribuidores y clientes, favorece la imagen de la empresa al reducir el impacto medioambiental, reduce costes a lo largo de la cadena de suministro, minimiza el impacto en el ambiente y permite reutilizar materiales en sustitución de materiales vírgenes (1,4).

3. Clasificación y composición de los RAEE

El avance tecnológico es motivo de análisis en la generación de los RAEE. Suárez et al. (5) los define como “Cualquier dispositivo que utilice un suministro de energía eléctrica que haya alcanzado el fin de su vida útil”. En la búsqueda de estrategias para mitigar el impacto ambiental, la legislación mundial ha intervenido mediante la Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea, que clasifica a estos residuos en 10 categorías mencionadas a continuación:

- 1. Grandes electrodomésticos
- 2. Pequeños electrodomésticos
- 3. Equipos de informática y telecomunicaciones
- 4. Aparatos electrónicos de consumo
- 5. Aparatos de alumbrado
- 6. Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)
- 7. Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre
- 8. Aparatos médicos (con excepción de todos los productos implantados e infectados)
- 9. Instrumentos de vigilancia y control
- 10. Máquinas expendedoras

Esta clasificación puede ayudar mucho al estudio particular según las características de los RAEE, tal

Figura 1. Actividades de la logística inversa. Fue extraído de “Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali



Nota. Basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas” y elaborado por Calpa-Oliva (6)

como lo realizan Suárez et al. (5) en el diseño de un modelo de logística inversa para los RAEE tipo 3.

Los AEE están compuestos de materiales valiosos aprovechables como la plata, el oro y el paladio. El 70% de las TIC está en los plásticos, en los metales, y en su respectiva mezcla. Se estima que el crecimiento de los AEE se encuentra entre 20 y 50 millones de toneladas cada año (8). Una buena gestión de estos residuos puede generar beneficios económicos y un valor agregado a los consumidores (2). En ese sentido, se propone la logística inversa como herramienta de gestión de los RAEE para la correcta disposición de estos residuos, y de esa forma, evitar daños medioambientales y en la salud de las personas (7).

## 4. Metodología

Se realizó una búsqueda de teoría descriptiva, considerando estudios orientados a la mejora de la gestión de los RAEE. Enfocados principalmente en: procesos de logística inversa (1,4,5), sostenibilidad en la logística inversa (9), modelos de gestión de residuos (2,3,6,8,10), procesos de recolección (7) y legislación (7,10,11) Considerando lo anterior, se pretende realizar un mapeo sistemático de literatura a partir de la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los problemas de la logística inversa en la gestión de los RAEE?

Para la búsqueda de las investigaciones en las bases de datos de la literatura científica se emplearon criterios de inclusión como artículos de investigación publicados desde el año 2015 al 2021, únicamente en idioma castellano. Además, se utilizaron las ecuaciones de búsqueda siguientes: ("logística inversa" AND "RAEE") y (("logística inversa" AND ("aparatos eléctricos y electrónicos" OR "residuos de aparatos eléctricos y electrónicos"))).

Las principales fuentes de información fueron los artículos científicos que se extrajeron de diferentes tipos de base de datos tales como: ProQuest, Redalyc, Scielo y Google Académico. Se recopilaron 11 artículos los cuales el 100% están en lengua castellana y pertenecen a Latinoamérica y España.

## 5. Resultados

A continuación, en la Figura 2 se detallan los artículos seleccionados para la presente investigación respecto a sus años de publicación en las diferentes bases de datos. No se encontraron artículos publicados en los años 2016 y 2021.

Por otro lado, los artículos seleccionados corresponden su aplicación en el país de Colombia mayoritariamente, seguido de Ecuador, según se detalla en la Figura 3.

La aplicación de un proceso de logística inversa en la gestión de los RAEE puede ser la solución al impacto ambiental y a la manifestación de enfermedades en las personas, a consecuencia de una inadecuada disposición de estos residuos. A partir de la revisión realizada, se caracterizaron los problemas que presenta la logística inversa en la gestión de los RAEE descritos en la Tabla 1.

## 6. Discusión

La limitación de la investigación fue la falta de estudios previos en el tema, en el año 2016 y 2021 no se encontraron artículos científicos acordes a las variables de inclusión señaladas, especialmente en el idioma español. Ello se podría evidenciar en la falta de precisión en la identificación de los problemas, ya que los países desarrollados tienen estudios más numerosos, en su mayoría en inglés. Para las próximas investigaciones se recomienda considerar tal idioma, pues se podría brindar una mirada más amplia respecto a la logística inversa y a la gestión de los RAEE, y profundizar la pregunta de investigación.

De los problemas identificados durante la revisión, como se muestra en la Tabla 1, se pudo observar que 4 de ellos cobraron mayor importancia por la cantidad de artículos relacionados, es decir, que los autores de aquellos artículos comparten la misma idea respecto al problema identificado. A continuación, se interpretará cada uno de estos.

La falta de concientización ha sido uno de los principales problemas identificados, Cevallos et al. (9) nos da un ejemplo de ello en su investigación, el cual evalúa la sostenibilidad en una cadena de suministro inversa de refrigeradoras en Ecuador mencionando que una de las dificultades que encontró fue incorporar los RAEE al proceso de recuperación y concluye que no se alcanzan los niveles satisfactorios debido a la falta de concientización ambiental de los clientes en el uso de las refrigeradoras hasta el final de su vida útil. Sin embargo, Serrano et al. (5) en su investigación sobre el diseño de un modelo de logística inversa de los RAEE tipo 3, sugiere facilitar a los clientes los medios para la disposición correcta de sus residuos, por ejemplo, Roa et al. (1) recomienda que en Colombia deberían llevarse a cabo campañas para fomentar la participación ciudadana y capacitar en temas de gestión de residuos.



Figura 2. Número de artículos publicados por año.

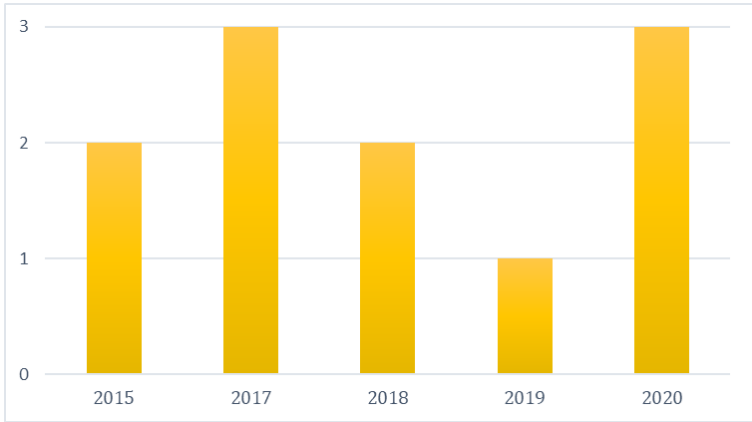


Figura 3. Total de artículos según país de estudio.

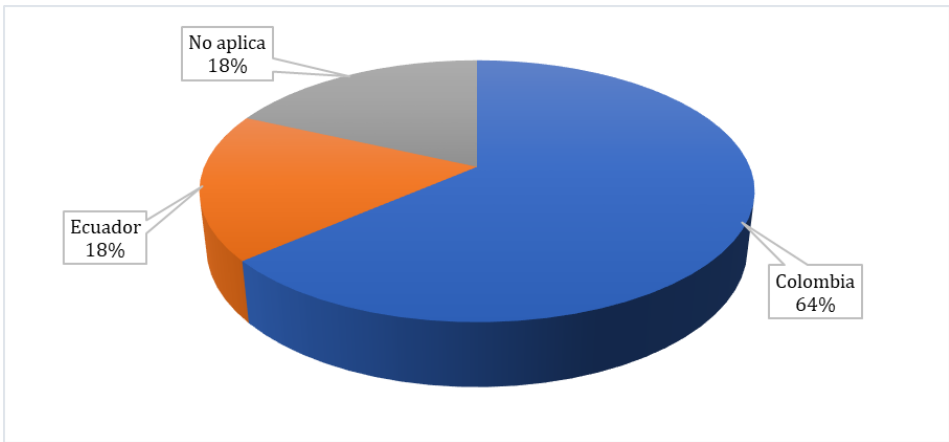


Tabla 1. Caracterización de los problemas

| Problema   | Descripción  | Artículos relacionados | Cantidad de artículos |
|--|--|------------------------|-----------------------|
| Deficiente control de información  | Ausencia o escaso control de la información de las empresas que realizan el manejo, control y disposición final de los RAEE que dificulta una adecuada gestión de la información para la mejora de los procesos de logística inversa.  | (2,6)                  | 2                     |
| Falta de concientización hacia el reciclaje y la disposición de los RAEE | Los hábitos de consumo y el desconocimiento de los RAEE influyen la mala disposición de los RAEE o el mínimo tratamiento para estos residuos.  | (1,3,5,6,8,9)          | 6                     |
| Falta de herramientas de gestión especializadas y tecnología adecuada    | El proceso de gestión de RAEE puede lograr niveles satisfactorios con la tecnología adecuada, así como con herramientas de gestión tales como: la simulación de sistemas, green computing, 6R y la logística inversa.  | (1,4,6,9-11)           | 6                     |
| Escasa normativa legal   | Se sugiere instaurar normas legales para la gestión de los RAEE que permitan impulsar la correcta disposición de estos residuos tanto para los fabricantes como para los consumidores, así como lineamiento en el manejo de las sustancias peligrosas de los RAEE.   | (1,3,6,7,10,11)        | 6                     |
| Desconocimiento de las oportunidades económicas                          | Se reconoce al proceso de logística inversa como activador económico, ya que en la gestión de los RAEE se genera utilidades mediante la venta de la materia prima recuperada o se disminuyen los costos de la materia prima.   | (3,5-8,11)             | 6                     |
| Falta de integración entre las dimensiones de la sostenibilidad          | La falta de integración puede impactar negativamente en alguna de estas dimensiones: ocasionando un daño mayor al ambiente, la inadecuada gestión del flujo de residuos en la dimensión ecológica, un negocio no rentable para la dimensión económica y, la falta de personal capacitado en la dimensión social. | (2,9)                  | 2                     |

La falta de herramientas de gestión especializadas y tecnología adecuada juega un papel importante dentro de las empresas y organizaciones. Según Caizaguano et al. (10) la aplicación del green computing junto a distintas tecnologías en el proceso de la gestión de los RAEE contribuirán a “eliminar, inactivar o destruir los compuestos orgánicos nocivos, así como extraer materiales valiosos”. Además, Cevallos et al. (9) apoya a la idea proponiendo la aplicación de principios o estrategias tales como la logística inversa y el 6R.

El cumplimiento de normativa legal, sin embargo, podría facilitar y fortalecer a gestión de los RAEE a escala nacional (6). Rodondo et al. (3) en su investigación sobre la evaluación de estrategias para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, señala que la Ley Colombiana N° 1672 que establece los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de RAEE impacta positivamente en los residuos de los usuarios o clientes, y en los hogares, disminuyendo la mala disposición de estos residuos y la cantidad de residuos que llegan a los vertederos. Sin embargo, Casas et al. (7) evidencia la necesidad mayores lineamientos en Colombia para la adecuada disposición de estos residuos debido a su peligrosidad en su contenido.

Finalmente, el desconocimiento de las oportunidades económicas es otro elemento que impide la correcta gestión de los RAEE. Al respecto, Yinette et al. (5) señala que el tratamiento de estos residuos puede generar valor en las industrias y organizaciones de 2 formas: generando utilidades por la venta de materia prima obtenida en el proceso de recuperación, o integrando la materia prima en la propia cadena de suministro del AEE con el objetivo de disminuir los costos del proceso de producción. Rodondo et al. (3) apoya la idea mencionando que la disponibilidad de materia prima derivada del procesamiento de estos residuos permitirá abrir un nuevo mercado que fomente el desarrollo social y económico.

## 7. Conclusiones

A pesar de la limitación en cuanto a la falta de estudios en idioma español, se identificó 6 problemas de la logística inversa en la gestión de los RAEE siendo 4 aquellos que presentaron mayor cantidad de artículos relacionados.

Respecto a la concientización, el desconocimiento de los usuarios dificulta la correcta disposición de los RAEE. Llevar a cabo eventos para la participación ciudadana podría ser determinante en el proceso de recolección o logística inversa (de

usuarios a empresa u organización). Por otra parte, las herramientas de gestión especializadas y tecnología adecuada serán necesarios para la valorización efectiva y control de la peligrosidad de los residuos; junto a la normatividad legal para disminuir el impacto hacia el ambiente y la salud humana, y favorecer la disposición adecuada desde un mayor control estatal. También se mencionó la importancia del procesamiento de los AEE al final de su vida útil, ya que puede generar oportunidades de negocio debido a los beneficios económicos que genera para utilidad propia o comercio.

Los países de Latinoamérica aún enfrentan desafíos en logística inversa y gestión de los RAEE; sin embargo, hay un potencial en la correcta disposición de estos residuos para la generación de empleo y de beneficios económicos, impactando positivamente en la economía de los países en vías de desarrollo. Con la información presentada se espera brindar un contexto más claro de los problemas que se pueden presentar a una industria u organización para tomar mejores decisiones y fomentar las prácticas sustentables.

## Bibliografía

1. Roa Banquez K, Aguilar LC, Casas JV. Logística Inversa a los Residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos [Internet]. Bogotá: Universidad Santo Tomás; 2015 [citado 2022 oct 20]. 19 p. Disponible en: <http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/III-congresoproblemasinvestigacioneduc/LOGISTICA%20INVERSA%20A%20LOS%20RESIDUOS.pdf>
2. Valderrama Lopez CF, Diaz LJ, Vargas JO. Análisis de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES). Estudio de caso en la ciudad de Neiva. Revista de Investigación Agraria y Ambiental [Internet]. 2018 dic 18 [citado 2022 oct 20];10(1):131–40. DOI: 10.22490/21456453.2295
3. Redondo JM, Ibarra-Vega D, Monroy L, Bermúdez J. Evaluación de estrategias para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Dyna [Internet]. 2018 abr 1 [citado 2022 oct 20];85(205):319–27. DOI: 10.15446/dyna.v85n205.62564
4. Martínez Villegas DR. Modelo de logística inversa en residuos electrónicos colombianos para contribuir con el cuidado del medio ambiente. Revista digital de Semilleros de Investigación REDSI [Internet]. 2020 [citado 2022 oct 20];2(1). Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/seminve/article/view/725/681>

5. Universidad Pontificia Bolivariana. Diseño de un modelo de logística inversa para los RAEE tipo 3. Congreso Internacional en Administración de Negocios Internacionales [Internet]; 2017; Bucamaranga. Bucamaranga: Yinette M, Serrano S, Leonardo J, Silva T, Alejandra P, Quintero T;2017 [citado 2022 oct 20]; 627- 642 p. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6290953>

6. Calpa-Oliva JE. Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali, basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas. TecnoLógicas [Internet]. 2020 may 15 [citado 2022 oct 20];23(48):55–81. DOI: 10.22430/22565337.1418

7. Casas J de J, Cerón K, Vidal CJ, Peña CC, Osorio JC. Priorización multicriterio de un residuo de aparato eléctrico y electrónico. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo [Internet]. 2015 jul 1 [citado 2022 oct 20];33(2):172–97. DOI: 10.14482/inde.33.2.6309

8. Noroña Alarcón C, Noroña Alarcón J, Paladines Rodríguez J. Análisis de la exportación de los desechos electrónicos y su incidencia en el comercio exterior del ecuador. Espirales [Internet]. 2019;3(26). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573263325004>

9. Cevallos Muñoz O, Abreu Ledón R. Evaluación de la sostenibilidad de una cadena de suministro inversa en Ecuador. Ciencias Holguín [Internet]. 2017;23(3): 1-18. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181552082006>

10. Caizaguano C, Fonseca E, Caizaguano C, Vega M, Bazán Patricia. Modelo de Gestión de Residuos de Equipos de Informática y Telecomunicaciones para Instituciones de Educación Superior. Revista ibérica de sistemas y tecnologías de la información (Risti) [Internet]. 2020 [citado 2022 oct 20];436–51. Disponible en: <http://www.risti.xyz/issues/ristie31.pdf>

11. Vásquez Osorio WJ. Revisión sistemática del estado de arte acerca de los procesos y efectos de la logística inversa de paneles solares [Tesis de título]. Colombia: Universidad Autónoma de Occidente; 2017 [citado 2022 oct 20]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/9583/T07254.pdf?sequence=1&isAllowed=y>