

ENERGÍAS RENOVABLES: ALTERNATIVAS PARA EL SECTOR

AGROPECUARIO EN PANAMÁ

RENEWABLE ENERGIES: ALTERNATIVES FOR THE AGRICULTURAL SECTOR IN PANAMA

Martín A. Caballero E.¹; Rubén D. Collantes G.²

¹ Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Estación Experimental de Cerro Punta, Chiriquí. Panamá. maxel797@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6124-0935>

² Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Estación Experimental de Cerro Punta, Chiriquí. Panamá. rdcg31@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

Recepción: 28 de julio de 2022

Aprobación: 29 de septiembre de 2022

Resumen

La crisis energética es una realidad que se está confrontando en el mundo, derivando en impactos sociales, económicos y ambientales, los cuales en muchos casos resultan difíciles de cuantificar y valorar de manera objetiva. Aún la mayoría de los vehículos y maquinarias dependen del combustible fósil, sin ser el sector agropecuario la excepción. Por otra parte, la tecnología e innovación, en particular la desarrollada durante la última década, ha puesto al alcance de las personas alternativas energéticas viables, inclusive para su utilización en la producción agropecuaria. El presente trabajo es una revisión, que se centra en energías renovables, como la solar fotovoltaica, la eólica, el biogás y el hidrógeno; que pueden contribuir con el desarrollo eficiente del sector agropecuario en Panamá, con potenciales beneficios económicos, reduciendo el riesgo de contaminación ambiental y sirviendo como medios de integración y responsabilidad social. Se consultó literatura especializada sobre la

materia, además de compartir alcances de los propios autores. Se espera que este trabajo sirva como elemento orientador, hacia la sostenibilidad y desarrollo agroindustrial.

Palabras clave: Agroindustria, biogás, energía eólica, energía fotovoltaica, hidrógeno.

Abstract

Energy crisis is a reality that is being faced all around the world, resulting in social, economic and environmental impacts, which in many cases are difficult to quantify and assess objectively. Still most of the vehicles and machinery depend on fossil fuel, without being the agricultural sector the exception. On the other hand, technology and innovation, particularly that developed during the last decade, have made viable energy alternatives available to people, including for use in agricultural production. The present work is a review, which focuses on renewable energies, such as photovoltaic solar, wind energy, biogas and hydrogen; that can contribute to the efficient development of the agricultural sector in Panama, with potential economic benefits, reducing the risk of environmental contamination and also serving as means of integration and social responsibility. Specialized literature on the subject was consulted, in addition to sharing the scope of the authors themselves. It is expected that this work will serve as a guiding element, towards the sustainability and agroindustrial development.

Keywords: Agroindustry, biogas, hydrogen, photovoltaic energy, wind energy.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo reciente de la humanidad ha estado fuertemente vinculado con el uso de combustibles fósiles. Sin embargo, el consumo descontrolado de los mismos, está derivando en problemas serios, como la contaminación ambiental, el calentamiento global,

así como la demanda insatisfecha por escasez de este recurso energético; lo cual está derivando en fricciones geopolíticas. Por un lado, el uso de la energía nuclear es seriamente cuestionado en varias partes de occidente; mientras que otros sectores idealistas apuestan por el uso de fuentes de energía renovable (FER), como la opción que sustituirá por completo los combustibles fósiles. Lo apropiado sería, por un lado, utilizar FER a la par con medidas de eficiencia energética para racionalizar su demanda (Fracastoro, 2014).

La no sustentabilidad de los recursos energéticos derivó en conflictos entre países para apropiarse de los principales yacimientos de petróleo, entre otros problemas. De allí surge la necesidad de encontrar nuevas fuentes energéticas que perduren en el tiempo de manera sostenible, tanto con el desarrollo de actividades como con el ambiente. Esto gestó el concepto de energías renovables; lo cual puede ser aplicado en la agricultura familiar, siempre y cuando sea una fuente ambientalmente sostenible, sume valor agregado a la producción mediante la implementación de tecnologías, que perdure en el tiempo y que además sea replicable. (Huerga y Venturelli, s. f.).

En ese sentido, Medina (2010), enfatizó que muchas explotaciones agrícolas y pecuarias suelen situarse en lugares alejados de las urbes, en donde no existe suministro eléctrico y limita la tecnificación del productor; mencionando además como posibles alternativas la energía solar térmica para desinfección y "refrigeración solar" en la agroindustria; la energía solar fotovoltaica para abastecimiento energético tanto de viviendas como de infraestructuras (casas de vegetación) y sistemas de riego; la energía eólica en lugares en los que la radiación solar no sea suficiente; energía de biomasa, mediante el reciclaje de desechos orgánicos para la obtención de biogás (como fuente eléctrica) y abonos.

El éxito de una empresa agropecuaria está estrechamente vinculado con la energía; debido a que todos los procesos productivos, como el funcionamiento de los sistemas de riego, la maquinaria para ordeño, la regulación de temperatura y humedad en ambientes controlados, entre otros procesos agroindustriales, conllevan un alto consumo energético. Por ello, se debe considerar utilizar energías renovables no convencionales (Cooper, 2012).

Perlman y Pava (2019), estudiaron la matriz energética en Panamá, encontrando que es poco diversificada y que casi el 92% de la energía eléctrica se obtiene de derivados del petróleo, por lo que el precio del petróleo afecta directamente el precio de la electricidad, pese a que una gran parte de la misma se genera con fuerza hidráulica para sistemas de bombeo de agua. Esto, sumado a otros hallazgos, les permitieron concluir a los autores que, el sector energético panameño privilegia el desarrollo económico sobre los posibles impactos ambientales negativos.

La agricultura no es un sector aislado, porque se interrelaciona con otros sectores y contribuye con el crecimiento social y económico, mediante la ocupación de mano de obra, la generación de divisas, el uso y conservación de recursos naturales, la generación de capital de inversión y fuertes encadenamientos, con el comercio y los servicios financieros, de transporte y de almacenamiento, entre otros (IICA, 2014). Entonces, contando con procesos productivos automatizados, ocupando energías renovables, contribuiría con la optimización del uso de mano de obra, además de generar nuevas capacidades en el talento humano que participa en el sector agropecuario.

Por todo lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es desarrollar una revisión centrada en las principales energías renovables que pueden ser implementadas en los sistemas de producción agropecuaria de Panamá: energía solar fotovoltaica, energía eólica, biogás y

producción de abonos y el hidrógeno; que redunden en disminuir los costos de producción, reducir la contaminación en el ambiente, mejorar la economía circular y servir como medios de integración familiar y social.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo, se consultó un total de 40 referencias sobre la temática, principalmente de los últimos 10 años. Además, se han incluido algunas figuras inéditas y originales, así como alcances de los propios autores sobre la materia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía solar fotovoltaica

La energía eléctrica es versátil, permitiendo resolver diferentes necesidades, como iluminación, calefacción, refrigeración, comunicación, entre otras. Perpiñán (2020), explicó que, un sistema fotovoltaico (SFV), está constituido por equipos eléctricos y electrónicos que generan energía eléctrica a partir de la radiación solar; siendo el principal componente del sistema el módulo fotovoltaico, que está compuesto por celdas que transforman la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. Adicionalmente, el autor explicó que los SFV pueden ser de conexión a red (generando utilidades al productor), autónomos de electrificación y de bombeo; para varios usos (Figura 1).

La agricultura, al igual que muchas otras industrias, puede verse beneficiada por el aprovechamiento de la energía solar. Las celdas fotovoltaicas fueron inventadas en 1954 en

los Laboratorios Bell, Estados Unidos de América. Las celdas fotovoltaicas pueden construirse de dos maneras: concentrador y panel plano. En las celdas planas, que son las más comunes, la luz es llevada al semiconductor y transformada inmediatamente en energía eléctrica, que a su vez puede ser almacenada en una batería. Esto representa una inversión para el futuro, contaminando menos y generando desarrollo (Vahedi y Hosseini, 2017).

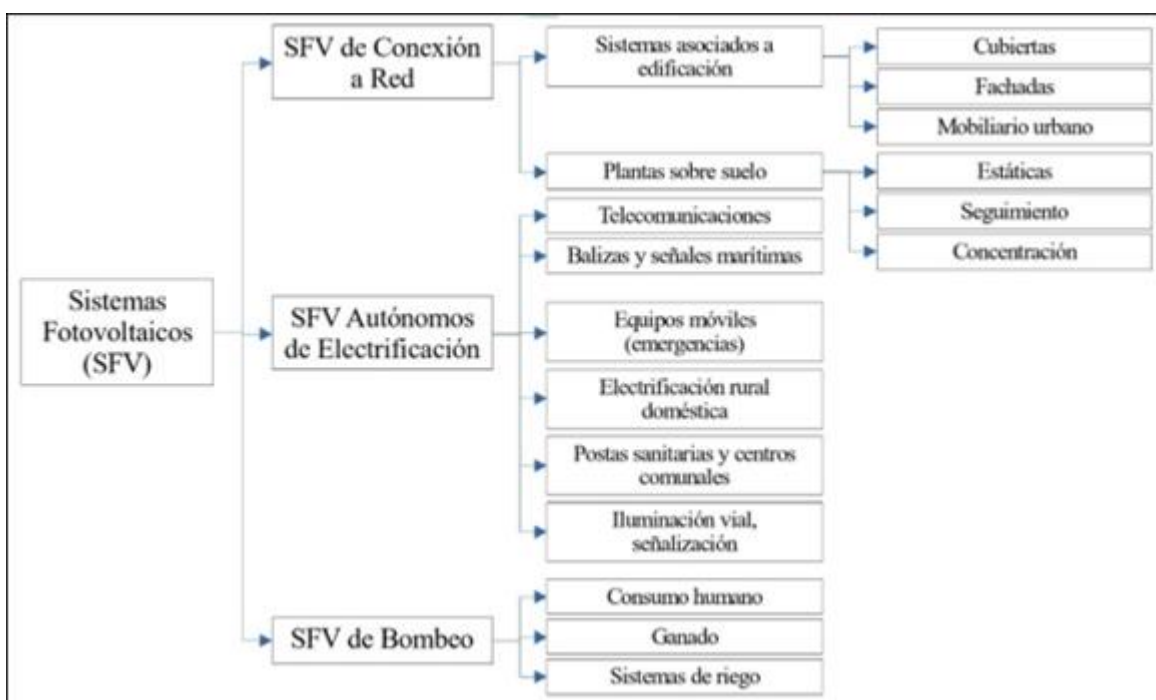


Figura 1. Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas. Adaptado de Perpiñán (2020).

Pascaris et al. (2021), realizaron una investigación sobre energía agrovoltaica, que consiste en aprovechar una misma superficie de terreno para obtener energía solar y productos agrícolas; de lo cual concluyeron que, para suplir la demanda global de alimentos y energía, el aprovechamiento del suelo debe ser complementario, no competitivo. De hecho,

existe una creciente aceptación por la generación de energía eléctrica mediante los SFV, siendo el principal atractivo de la agrovoltaica el poder mantener el uso agrícola del suelo, a la vez que se genera energía. Adicionalmente, los autores precisaron que, este potencial para aumentar la aceptación local de la energía solar da a los desarrolladores y legisladores una razón para diseñar modelos de participación pública y medidas políticas que apoyen el desarrollo agrovoltaico.

Si bien lo anteriormente mencionado resulta alentador, aún persiste la dependencia de combustibles fósiles en el sector agropecuario. Recientemente, por problemas confrontados a nivel nacional, hubo escasez de combustible en la región occidental de Panamá (Figura 2); la cual constituye la principal zona de producción agropecuaria. Como alternativa promisoría para los *pick up* y otras maquinarias de uso agrícola que funcionan con diésel o gasolina, algunas empresas están invirtiendo en investigación, innovación y desarrollo (I+I+D), para motores eléctricos que no dependan de combustible fósil. Por ejemplo, Ford introdujo el modelo F-150 Lightning, el cual es completamente eléctrico y su versión básica rondaría los USD 40 000,00, rindiendo además 370 km de recorrido con la batería completamente cargada; la cual puede ser mayor capacidad en versiones más equipadas. Se espera que, en el año 2023, inicien la producción anual con 40 mil unidades (Reuters, 2021).



Figura 2. Fila en la vía Interamericana, esperando por combustible (21/jul./2022).

El poder recargar un vehículo de este tipo con energía generada mediante los SFV, es otro beneficio que potencialmente representaría un ahorro en combustible de al menos un 50%; sumado a una disminución de contaminantes en el ambiente y a la posibilidad de invertir ese dinero ahorrado en mejorar el nivel tecnológico de la finca, con equipos de mayor eficiencia en cuanto al consumo energético. Por ejemplo, Arcia et al. (2019), desarrollaron un SFV con un mecanismo de rotación automática, para mejorar la eficiencia al captar perpendicularmente la luz solar en las fotoceldas de silicio; logrando un incremento de hasta 16,77% en la producción de energía.

Energía eólica

Por muchos siglos, la energía del viento ha sido aprovechada para múltiples labores, como moler granos y bombear agua de pozos. Si bien su uso fue menguado por dar pase a la energía eléctrica y los combustibles fósiles, en años recientes se ha incrementado el interés por las energías renovables; de la mano con una mayor preocupación por los impactos negativos en

el ambiente, derivados del uso de combustibles fósiles. Los agricultores y ganaderos con predios en áreas con vientos, pueden obtener cosechas y criar animales, mientras se genera energía mediante turbinas (Pace Law School, 2011).

La producción de energía eólica es relativamente económica y accesible. Los mantenimientos de los parques eólicos no son tan complejos y, dependiendo de los factores naturales donde se ubiquen, pueden garantizar suministro energético a largo plazo. El parque eólico de Penonomé, Provincia de Coclé, es el primero en Panamá y el más grande en Centroamérica, cuenta con 108 aerogeneradores capaces de generar 270 MW al año; lo cual equivale a satisfacer la demanda energética de 100 mil familias, es decir, más de medio millón de personas aproximadamente. Aunque la producción de energía es durante todo el año, el 75% de la misma se genera entre los meses de diciembre y mayo, que corresponde a la estación seca en Panamá (Loo, 2015; Bonilla, 2017).

La Secretaría Nacional de Energía (2016), citó estudios elaborados por ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica), los cuales estimaron el potencial eólico en Panamá en 7180 MW, con un área aprovechable de 897,71 km² (aproximadamente el 1,9% del territorio nacional). Entre las Provincias con mayor potencial eólico, están Bocas del Toro (840 MW), Coclé (940 MW), Colón (1557 MW) y Veraguas (704 MW).

La Asamblea Nacional, mediante la Ley No. 43 de lunes 25 de abril de 2011, establece en el artículo 2, que los objetivos estratégicos de la Secretaría Nacional de Energía son los siguientes:

- Promover una matriz energética capaz de disminuir costos, impacto, vulnerabilidad y dependencia, acorde con la demanda esperada.

- Promover políticas que aseguren la cobertura y la accesibilidad a la energía.
- Promover la optimización del uso de los recursos energéticos.
- Maximizar la eficiencia energética del país.
- Promover mercados competitivos.
- Propiciar un marco normativo que facilite las reglas para un sector energético moderno y eficiente.

Sumado a lo anterior, la Asamblea Nacional, mediante la Ley No. 44 de lunes 25 de abril de 2011, establece en el artículo 21 que, las centrales eólicas que se amparen en los incentivos establecidos en dicha ley, deberán cumplir con altos estándares técnicos y de desempeño, acordes con las últimas tecnologías y mejores prácticas de la industria.

La UCS (2003), estimó que el tiempo de vida útil de una turbina es de 30 años; con lo cual, con un adecuado mantenimiento y procurando que la mayor parte de la demanda energética de la vivienda y de las operaciones en la finca sean cubiertas con la energía eólica generada, se puede lograr conseguir un retorno completo de la inversión a mediano o largo plazo, dependiendo también del tamaño de la turbina y de que se logre ocupar toda la energía generada por la turbina tanto en la vivienda como en la finca.

Otro aspecto que preocupa a algunas personas es la posible afectación del valor de los terrenos en los cuales se instalan las turbinas. Según Sampson et al. (2020), las turbinas no afectan dicho valor, ya sea que estén instaladas dentro de la finca o en los alrededores. Por otro lado, los autores tampoco pudieron confirmar que el contar con una turbina incrementase el valor de la propiedad.

Si bien se han abordado los SFV y las turbinas por separado, en realidad son sistemas que en muchos casos se implementan de manera complementaria; debido a los cambios en las

corrientes de viento (como se explicó previamente, en estación seca son mayores) o a la variación de la luz solar durante el día o en periodos con lluvia, ya que en la noche no se genera energía fotovoltaica y las turbinas sí podrían generar energía aprovechando las corrientes eólicas nocturnas. En este sentido, Acosta-Silva et al. (2019), trabajaron sobre la aplicación de los sistemas de energía renovable eólica y solar aplicados en casas de vegetación (invernaderos), encontrando que representan un ahorro importante en combustible y, por ende, contribuyen con la sostenibilidad de dichos sistemas productivos.

Biogás y producción de abonos orgánicos

Los biodigestores son una tecnología que transforma, mediante fermentación anaeróbica, residuos orgánicos (estiércol, basura orgánica, aguas servidas, entre otros), en biogás y abono; contribuyendo con la producción de energía limpia, reduciendo los riesgos de contaminación ambiental y generando beneficios económicos, mediante el ahorro energético y el aprovechamiento de abonos. El biogás es un combustible cuya composición es de 50 a 80% metano, 30 a 40% CO₂, ácido sulfhídrico y trazas de otros elementos. El biogás es el mismo gas natural que se comercializa y es similar al propano o butano, utilizados para el funcionamiento de equipos (Guerrero et al., 2013; Martí et al., 2017).

Si bien en muchos casos los biodigestores son operados utilizando estiércol de res o de cerdo, en Perú se tiene el cuy o cobayo (*Cavia porcellus* (L., 1758)) (Figura 3A), el cual, además de servir como alimento, su estiércol se puede aprovechar para la obtención de biogás y biol (abono líquido). Ramírez (2017), entrevistó a la Dra. Carmen Felipe-Morales Basurto (Figura 3B), quien hace más de 25 años implementó en su finca "Bioagricultura Casa

Blanca", un biodigestor con 10 m³ de capacidad, el cual produce semanalmente 200 litros de biol (Figura 3C) y es abastecido cada semana con 200 litros de pre-compost. Además, este biodigestor utilizando estiércol de cuy, puede producir 3 m³ de biogás diarios (tres veces lo que se obtendría utilizando estiércol de res); suficiente para cuatro a cinco horas de uso en la cocina. Otro beneficio del biodigestor es un abono sólido (biosol).



Figura 3. Finca "Bioagricultura Casa Blanca": A) Cuy; B) Dra. Carmen Felipe-Morales explicando el funcionamiento del biodigestor; C) Biol. Fotos: R. Collantes.

El segundo autor tuvo oportunidad de conocer dicha finca, observándose como otro beneficio que se puede obtener de este tipo de emprendimientos, el desarrollo de agroecoturismo, dado que se reciben frecuentemente visitas de colegios, universidades y profesionales que desean ser capacitados sobre la materia, mediante cursos dictados por la Dra. Carmen Felipe-Morales y por su esposo, el Dr. Ulises Moreno. Sumado a ello, el cuy forma parte de la gastronomía tradicional de Perú, el cual también puede ser preparado y servido, a solicitud de los visitantes de la finca.

Alhassany et al. (2022), analizaron el potencial bioenergético que se podría producir en Irak, encontrando que, 10 millones de toneladas de rastrojos agrícolas podrían generar 115 PJ de energía por año; mientras que 10 millones de cabezas de ganado contribuirían con la producción de 72 millones de metros cúbicos de biogás por día, traducidos en 946 TJ por año, principalmente a base de estiércol. De acuerdo con información de INEC (2020), Panamá contaba con un total de 1 505 500 cabezas de ganado; con lo cual, tomando como referencia las estimaciones de Alhassany et al. (2022), representarían un potencial de alrededor de 10 millones de metros cúbicos de biogás por día. Considerando además la estimación de Iniciativa Panamá Sin Pobreza (2020), basados en información del INEC, se estima que actualmente en Panamá hay más de un millón de viviendas ocupadas; con lo cual, este potencial de biogás serviría virtualmente para satisfacer el consumo promedio de gas de cocina por vivienda, disminuyendo la dependencia de gas propano o butano.

Aunque estas proyecciones sean alentadoras, Varnero (2011), indicó como factores determinantes en la producción de biogás:

- Naturaleza y composición bioquímica de las materias primas.
- Relación carbono/nitrógeno de las materias primas.
- Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.
- Temperatura.
- Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica.
- Rangos de pH y alcalinidad.
- Nutrientes (niveles de sales).
- Potencial Redox.
- Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis.

- Promotores de metanogénesis (inoculantes biológicos).

Hidrógeno como combustible para el sector agropecuario

Hace más de una década, la empresa New Holland desarrolló un prototipo de tractor que funciona con hidrógeno, el cual es viable y funcional; contribuyendo con la sostenibilidad de la agricultura, al ser una alternativa frente a los tractores que funcionan con diésel. El tractor cuenta con autonomía y potencia para realizar las mismas labores que un vehículo con motor convencional. Como principal ventaja, el hidrógeno no genera emisiones de CO₂. Funciona mediante un sistema híbrido, en el cual un motor eléctrico desarrolla la propulsión mecánica y una pila de combustible hidrógeno genera la electricidad para alimentar el motor. El tamaño de la pila dependerá de la potencia requerida y la autonomía del tractor estará en función del tamaño del depósito de almacenamiento de hidrógeno a presión. Se estima que, para una jornada de trabajo de ocho horas, se requieren 50 kg de combustible de hidrógeno, siendo el tiempo de recarga estimado de una hora aproximadamente (Repuestos Fuster, 2021).

Por otro lado, recientemente se descubrió un nuevo método sostenible y práctico para producir hidrógeno a partir del agua. A diferencia de los métodos actuales, este método no requiere metales raros, que son caros o escasos. En cambio, ahora se puede producir hidrógeno para celdas de combustible, para la producción de fertilizantes agrícolas y para la industria (plásticos, químicos, medicinas, entre otros) (Figura 4); usando cobalto y manganeso, dos metales bastante comunes (Li et al, 2022; Riken, 2022).

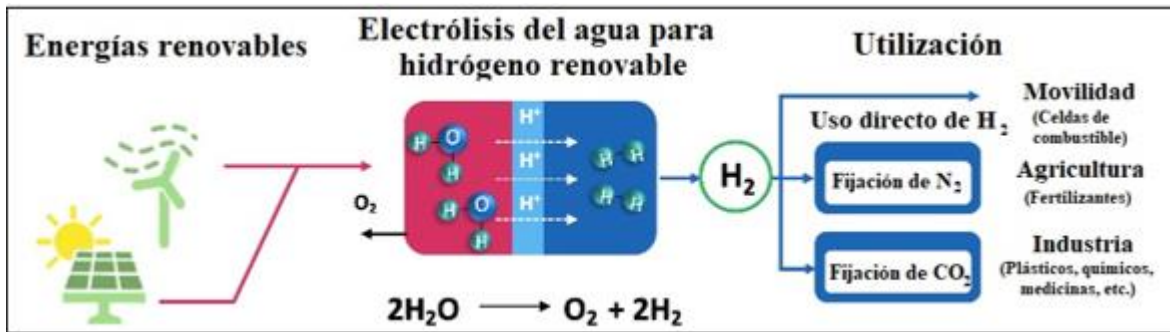


Figura 4. Producción sostenible de hidrógeno. Adaptado de Riken (2022).

La compañía Amogy, ha desarrollado el prototipo de un sistema de conversión para tractores de diésel, a fin de que utilicen amoníaco como combustible; el cual no genera gases contaminantes. Resulta apropiado para el uso agrícola, dado que el amoníaco está disponible en abundancia y ofrece una alta densidad energética. El sistema posee un tanque con amoníaco líquido, el cual se conecta a unos módulos que separan el nitrógeno del hidrógeno; este último alimenta una celda de combustible, que ofrece una densidad energética cinco veces superior a la de una batería de litio con más de 700 vatios-hora por kilo. Si bien existe una proyección para aplicar esta tecnología en otros tipos de vehículos, la producción de amoníaco sigue generando demasiado CO₂ (Kardoudi, 2022).

De manera similar a lo presentado en el caso anterior, el Proyecto Piloto H2Agrar, desarrollado en Alemania, pretende estudiar el uso y rendimiento potencial del hidrógeno para maquinaria agrícola; además evaluar las necesidades técnicas para una infraestructura de hidrógeno en la agricultura. Todo ello constituirá la base para futuras investigaciones sobre la reducción de las emisiones de CO₂ de los vehículos agrícolas (Fendt, 2022).

La Secretaría Nacional de Energía, mediante la Resolución No. MIPRE-2022-0002354, de 24 de enero de 2022, en los artículos 3 y 4, conforma el Comité de Alto Nivel de Hidrógeno Verde (CANHV) y el Comité Técnico de Hidrógeno Verde (CTHV) respectivamente. Considerando la importancia del hidrógeno en la agricultura, tanto para la producción de fertilizantes (amoníaco verde), como de combustible, es pertinente que a futuro se contemple en ambos equipos de trabajo, la participación del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y de la Universidad de Panamá, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias; entidades insignes del sector que pueden contribuir sobre la materia.

Baterías utilizadas en sistemas energéticos renovables

Si bien se han abordado algunos de los principales sistemas energéticos renovables, un componente indispensable para el adecuado aprovechamiento de la energía eléctrica generada es la batería. Esto adquiere mayor relevancia, dado que al no contar con una batería que permita almacenar toda la energía generada mediante un SFV, una turbina o mediante biogás, se estaría desaprovechando toda esta riqueza energética. Investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid, han desarrollado una batería termofotovoltaica, que permite almacenar cantidades considerables de electricidad renovable, además de suministrar electricidad y calor bajo demanda. Además, este sistema puede producir 100 veces más potencia que una planta de energía solar convencional, con una eficiencia entre 30 y 40%, según la temperatura de la fuente de calor; siendo el silicio y el ferrosilicio los materiales que pueden almacenar dicha energía a bajo costo (Híbridos y Eléctricos, 2022).

En la actualidad, diversos sistemas eléctricos e híbridos utilizan baterías de ion-litio; el cual representa el principal uso que se le da a este elemento. Bolivia, Chile y Argentina conforman el denominado "Triángulo del Litio", al concentrar alrededor del 67% de las reservas probadas de litio en el mundo y cerca del 50% de la oferta global. La demanda de litio para este rubro, pasó de 20 026 t LCE (carbonato de litio equivalente) en el año 2008 a 77 821 t en el año 2016; lo cual implica que el consumo de litio para construcción de baterías haya pasado de un 17% al 39% del total de la demanda durante este periodo. La cadena de valor en la fabricación de baterías de ion-litio, está conformada por seis eslabones: i) Materias primas; ii) Fabricación de componentes de las celdas (ánodo, cátodo, electrolito y separadores); iii) Fabricación de celdas; iv) Producción de baterías; v) Usos que se le dan a las baterías; vi) Reciclaje de las baterías (Figura 5) (López et al., 2019).

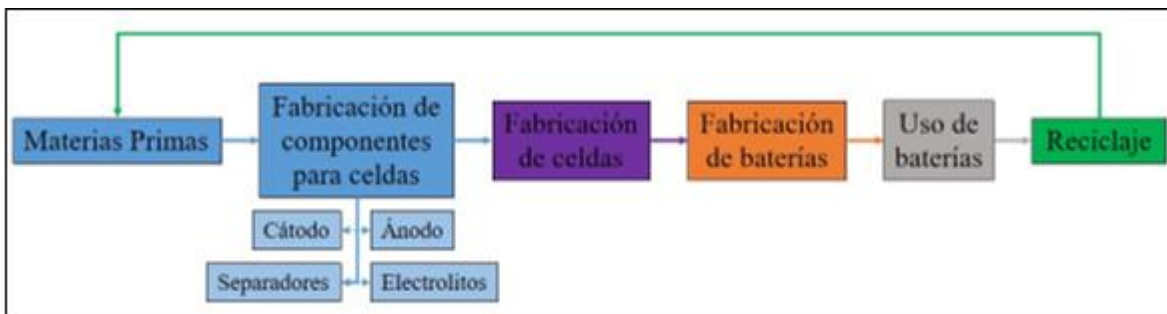


Figura 5. Cadena de valor en la fabricación de baterías. Adaptado de López et al. (2019).

Si bien la mayoría de sistemas ocupan en la actualidad baterías de litio, existe una creciente preocupación sobre el destino final. Se estima que para el año 2030, 11 millones de toneladas de baterías de ion-litio llegarán al final de su vida útil; lo cual exigirá esfuerzos en

la mejora de los sistemas de reciclaje de estos materiales. Esto, sumado a la escasez de algunos componentes como el cobalto, están obligando a innovar mediante la utilización de materiales más fáciles de encontrar, como silicio u oxígeno (Enel, 2022). Por su parte, Obaya y Céspedes (2021), afirmaron que el litio está entre los 25 elementos más abundantes del planeta, siendo una limitante encontrarlo en depósitos que permitan alcanzar niveles altos de concentración con procesos económicamente rentables. Del año 2010 al 2020, los recursos identificados de litio han aumentado en un 261%, pasando de 175 millones de toneladas de LCE a 457 millones de toneladas de LCE.

¿Biodiesel?

Si bien desde hace más de dos décadas se promocionó, como alternativa a los combustibles fósiles, el uso del biodiesel obtenido del cultivo de especies de alta densidad energética; este resulta ser un competidor directo con los sistemas agrícolas para la producción de alimentos. Panamá es uno de los países con baja disponibilidad de tierra arable para la expansión de la frontera agropecuaria, por lo que es mandatorio priorizar la producción de alimentos, en aras de contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Sumado a esto, al considerar todo lo que conlleva la producción, recolección y refinado del biodiesel, este puede contaminar tres veces más que los combustibles fósiles. Adicionalmente, el biodiesel tiene menor capacidad energética, mayor degradación y puede provocar problemas en algunas maquinarias (Gazzoni, 2009; Cid, 2019; Zoilorios, 2020).

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se puede concluir que, actualmente existen alternativas para el aprovechamiento sostenible de energías renovables, que pueden ser complementarias y adaptables para su utilización en la agricultura y la ganadería en Panamá y en otros países de América Latina y el Caribe (ALC). Sin embargo, el posible éxito de estos emprendimientos dependerá del nivel de compromiso, de la capacidad de gestión y de la adaptación de las tecnologías disponibles; lo cual a su vez debe estar respaldado con el desarrollo y fortalecimiento del talento humano. Si bien existen iniciativas de carácter legislativo en el país sobre la materia, estas merecen ser revisadas y actualizadas, a fin de que los entes del sector agropecuario cuenten con una participación plena en la planificación estratégica y la toma de decisiones respecto a investigación, innovación y desarrollo energético en Panamá.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), por el apoyo logístico brindado para la elaboración del presente trabajo.

REFERENCIAS

Acosta-Silva, Y., Torres-Pacheco, I., Matsumoto, Y., Toledano-Ayala, M., Soto-Zarazúa, G., Zelaya-Ángel, O., y Méndez-López, A. (2019). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. *Science Progress*, 102(2), 127-140.
<https://doi.org/10.1177%2F0036850419832696>

- Alhassany, H., Abbas, S., Tostado-Véliz, M., Vera, D., y Kamel, S. (2022). Review of Bioenergy Potential from the Agriculture Sector in Iraq. *Energies*, 15, 2678. <https://doi.org/10.3390/en15072678>
- Arcia, A., Schlager, A., y Ramírez, M. (2019). Desarrollo de un sistema fotovoltaico de generación eléctrica acoplado a un mecanismo de rotación automático (resultados preliminares). *Investigación Y Pensamiento Crítico*, 7(2), 78-84. <https://doi.org/10.37387/ipc.v7i2.114>
- Asamblea Nacional, PA. (2011). Ley No. 43 de lunes 25 de abril de 2011, que reorganiza la Secretaría Nacional de Energía y dicta otras disposiciones. *Gaceta Oficial*, 26771. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26771/GacetaNo_26771_20110425.pdf
- Asamblea Nacional, PA. (2011). Ley No. 44 de lunes 25 de abril de 2011, que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad. *Gaceta Oficial*, 26771. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26771/GacetaNo_26771_20110425.pdf
- Bonilla, M. (2017). Desarrollo de la energía eólica en Panamá. *El Tecnológico*, marzo, 7-8. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/el-tecnologico/article/view/1284/1722>
- Cid, G. (2019). *El 'biodiésel' por el que apuesta la UE contamina 3 veces más que el diésel normal*. El Confidencial. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2019-04-09/combustible-verde-aceite-palma-union-europea-contaminacion_1932978/
- Cooper, M. (2012). *Energías renovables no convencionales en la agricultura*. Ministerio de Agricultura, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, CL. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2012/07/6587_ArtEnerRenov072012.pdf
- Enel. (2022). *Sistemas de almacenamiento con baterías de litio*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/almacenamiento/baterias-de-litio>
- Fendt. (2022). *El proyecto piloto H2Agrar es premiado con el galardón DLG Agrifuture Concept 2022*. <https://www.fendt.com/es/proyecto-piloto-h2agrar>
- Fracastoro, G. V. (2014). The role of renewables in the energy crisis. *E3S Web of Conferences*, 2, 02003. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20140202003>
- Gazzoni, D. (2009). *Biocombustibles y alimentos en América Latina y el Caribe*. IICA, CR. 118 p. <http://repiica.iica.int/docs/B1569E/B1569E.pdf>
- Guerrero, B., Ramos, D., y García, C. (2013). *Instalación de un biodigestor de polietileno de bajo costo*. Proyecto: Manejo Ambiental Integrado para el Mejoramiento y Competitividad de Micros, Pequeñas y Medianas Granjas Porcinas. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

<http://www.idiap.gob.pa/download/instalacion-de-un-biodigestor-de-polietileno-de-bajo-costo/?wpdmdl=1864>

- Híbridos y Eléctricos. (2022). *Baterías termofotovoltaicas: una solución barata para almacenar energía renovable*.
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/baterias-termofotovoltaicas-solucion-barata-almacenar-energia-renovable/20220326194103056065.html>
- Huerga, I., y Venturelli, L. (s. f.). *Energías Renovables. Su implementación en la Agricultura Familiar de la República Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Ingeniería Rural (IIR), ARG.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-energias_renovables.pdf
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2014). *Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales*. IICA – San José, CR. 48 p. <http://repiica.iica.int/B3661e/B3661e.pdf>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo, PA). (2020). *Existencia de ganado vacuno en la República, por provincia y comarca indígena: Año 2020*.
<https://www.inec.gob.pa/archivos/P0705547520210423113855EXISTENCIA%20E%20GANADO2020.pdf>
- Iniciativa Panamá Sin Pobreza. (2020). *Situación Demográfica y de Vivienda: Situación Demográfica de Panamá*. <https://panamasinpobreza.org/situacion-demografica-de-panama/>
- Kardoudi, O. (2022). *La tecnología de amoníaco que puede eliminar el diesel*. El Confidencial. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2022-06-05/primer-tractor-utiliza-amoniaco-combustible_3436099/
- Li, A., Kong, S., Guo, C., Ooka, H., Adachi, K., Hashizume, D., Jiang, Q., Han, H., Xiao, J., y Nakamura, R. (2022). Enhancing the stability of cobalt spinel oxide towards sustainable oxygen evolution in acid. *Nature Catalysis*, 5, 109–118.
<https://doi.org/10.1038/s41929-021-00732-9>
- Loo, K. (2015). *Parque Eólico de Penonomé generará 270 MW en 2015*. La Estrella de Panamá. [https://www.laestrella.com.pa/economia/150303/270-parque-eolico-penonome-generara#:~:text=Con%20una%20inversi%C3%B3n%20de%20%24570,\)%2C%20a%20cargo%20del%20proyecto.](https://www.laestrella.com.pa/economia/150303/270-parque-eolico-penonome-generara#:~:text=Con%20una%20inversi%C3%B3n%20de%20%24570,)%2C%20a%20cargo%20del%20proyecto.)
- López, A., Obaya, M., Pascuini, P., y Ramos, A. (2019). *Litio en Argentina: Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la Cadena de Valor*. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0001553>

- Martí, J., Pino, M., y Viquez, J. (2017). *Biogás en el sector lechero en Chile*. Ministerio de Energía, CL / Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial / Global Environment Facility. <https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf>
- Medina, G. (2010). *El uso de las energías renovables en la agricultura*. https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/arti_289_12.%20Energ%C3%A4Das%20Renovables.pdf
- Obaya, M., y Céspedes, M. (2021). *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: implicaciones para los países del triángulo del litio*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/58), Santiago, CL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46943/S2100250_es.pdf
- Pace Law School. (2011). *Wind & Agriculture*. Pace Energy and Climate Center. https://law.pace.edu/sites/default/files/PECC/Wind_and_Agriculture_TOP_20OCT11.pdf
- Pascaris, A., Schelly, C., Burnham, L., y Pearce, J. (2021). Integrating solar energy with agriculture: Industry perspectives on the market, community, and socio-political dimensions of agrivoltaics. *Energy Research & Social Science*, 75, 102023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2021.102023>
- Perlman, G., y Pava, P. (2019). *Diversificación de la matriz energética en Panamá*. Centro de Incidencia Ambiental de Panamá (CIAM). https://www.mcgill.ca/pfss/files/pfss/diversificacion_de_la_matriz_energetica_de_panama.pdf
- Perpiñán, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Ramírez, G. (2017). *Biogás en Perú, energía limpia transformando guano de cuy*. Sur y Sur. <https://www.surysur.net/biogas-en-peru-energia-limpia-transformando-guano-de-cuy/>
- Repuestos Foster. (2021). *¿Qué es y cómo funciona el tractor de hidrógeno?* <https://www.repuestosfuster.com/blog/que-es-y-como-funcional-el-tractor-de-hidrogeno/>
- Reuters. (2021). *Ford Wires Its First Electric Trucks for Business Customers*. Farm Journal. <https://www.agweb.com/news/business/technology/ford-wires-its-first-electric-trucks-business-customers>
- Riken. (2022). *A new, sustainable way to make hydrogen for fuel cells and fertilizers*. https://www.riken.jp/en/news_pubs/research_news/pr/2022/20220215_1/index.html

- Sampson, G., Perry, E., y Taylor, M. (2020). The On-Farm and Near-Farm Effects of Wind Turbines on Agricultural Land Values. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 45(3), 410–427.
<https://econpapers.repec.org/scripts/redir.pf?u=https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.22004%252Fag.econ.302463;h=repec:ags:jlaare:302463>
- Secretaría Nacional de Energía, PA. (2016). *Plan Energético Nacional 2015-2050*. Aprobado por Resolución de Gabinete No. 34, del 29 de marzo de 2016. *Gaceta Oficial*, 28003-A.
https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28003_A/GacetaNo_28003a_20160405.pdf
- Secretaría Nacional de Energía, PA. (2022). Resolución No. Mipre-2022-0002354, de lunes 24 de enero de 2022, que adopta las bases de la Fase 1 de la hoja de ruta de hidrógeno verde en la República de Panamá y crea los Comités al servicio del hidrógeno verde de Panamá. *Gaceta Oficial*, 29461-A.
https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29461_A/GacetaNo_29461a_20220124.pdf
- UCS (Union of Concerned Scientists, US). (2003). *Farming the Wind: Wind Power and Agriculture*. https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2019-09/agfs_wind_2003.pdf
- Vahedi, M., y Hosseini, A. (2017). The Application of Solar Energy in Agricultural Systems. *Journal of Renewable Energy and Sustainable Development*, 3(2), 234-240. <http://dx.doi.org/10.21622/RES.D.2017.03.2.234>
- Varnero, M. (2011). *Manual de Biogás*. Ministerio de Energía, CL / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Global Environment Facility.
<https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Zoilorios. (2020). *¿Qué es el biodiésel? Conoce las ventajas y desventajas de este combustible*. <https://www.zoilorios.com/noticias/que-es-el-biodiesel-ventajas-y-desventajas>