

Desarrollo sostenible en Paraguay: un enfoque en el potencial de las biorrefinerías y las energías renovables

Shirley Duarte¹

sduarte@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0002-1753-0396>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Dario Alviso

beto.alviso@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6752-4218>

Universidad María Auxiliadora
Asunción Paraguay
Facultad de Ingeniería, Universidad de
Buenos Aires

Laura Correa

lcorrea@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0002-5137-9001>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Fátima Díaz

fdiaz@qui.una.py

<https://orcid.org/0009-0005-1670-6942>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Axel Dullak

adullak@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0002-3109-9475>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Omayra Ferreiro

oferreiro@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0001-8449-1297>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Diego González

dgonzalez@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0002-8959-2983>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Carlos Méndez

cmendez@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0003-3232-9188>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Cristina Penayo

<https://orcid.org/0000-0002-5896-1635>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Mario Smidt

msmid@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0002-3575-1862>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Walter Sandoval

<https://orcid.org/0000-0002-9107-6144>

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

Michel Galeano

michelosvaldo@qui.una.py

<https://orcid.org/0000-0003-0668-256X>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad
Nacional de Asunción
San Lorenzo - Paraguay

¹ Autor Principal

RESUMEN

En Paraguay, el consumo final de energía es poco sostenible debido a una mayor participación de los derivados de petróleo (39%) y de biomasa no certificada (41%) respecto a la electricidad (19%). Al ser un país importador neto de derivados del petróleo, la preocupación sobre la volatilidad del precio de los mismos, sumado al perjuicio ambiental que generan, compromete a la comunidad científica en cuanto a los desafíos y retos tecnológicos/económicos para la explotación de los recursos renovables como plataforma productiva del país. El objetivo de esta investigación es realizar un análisis sobre el potencial desarrollo de las biorrefinerías y energías renovables a nivel país, a partir de una revisión bibliográfica del tipo exploratoria/descriptiva basada en un análisis FODA. Los resultados presentan un panorama de la situación real del país en cuanto a su potencial para el desarrollo sostenible, así como un diagnóstico sobre las oportunidades en investigación, desarrollo e innovación (“I+D+i”) y las estrategias para mitigar los posibles riesgos de implementación de biorrefinerías a mediano y largo plazo a nivel nacional.

Palabras clave: *biorrefinerías, energías renovables, desarrollo sostenible, FODA, Paraguay.*

Sustainable development in Paraguay: a focus on the potential of biorefineries and renewable energy

ABSTRACT

In Paraguay, the final energy consumption is unsustainable due to a greater participation of petroleum derivatives (39%) and uncertified biomass (41%) compared to electricity (19%). Paraguay is a net importer of petroleum derivatives, where global concern about the volatility of their cost, added to the environmental damage they generate, compromises the scientific community regarding the technological/economic challenges for the exploitation of renewable resources as a productive platform for the country. The objective of this research is to carry out an analysis on the potential development of biorefineries and renewable energies at the country level. The methodology is based on exploratory/descriptive bibliographic research, based on the SWOT analysis. The results reveal the real situation of Paraguay in terms of its potential for sustainable development, as well as the diagnosis of opportunities in research, development and innovation ("R+D+i") and strategies to mitigate possible risks for the implementation of biorefineries in the medium and long term at the national level.

Keywords: *biorefineries, renewable energy, sustainable development, SWOT, Paraguay.*

Artículo recibido 05 mayo 2023

Aceptado para publicación: 29 mayo 2023

INTRODUCCIÓN

El término “*desarrollo sostenible*” implica sustentabilidad, pero se refiere principalmente a la eficiencia en el desarrollo de un proceso en el tiempo y espacio para generar recursos de igual o mayor valor. Asimismo, compromete al desarrollo de una sociedad de manera armónica con su ambiente, respetando las condiciones de vida y los recursos naturales, sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras.

El desarrollo sostenible se ha convertido en prioridad dentro de la agenda de desarrollo de los países. Paraguay, gracias a su “Plan Nacional de Desarrollo: Paraguay 2030” (PND2030), aprobado por el decreto N° 2794 de la Presidencia de la República, cuenta con tres ejes estratégicos: la reducción de la pobreza y desarrollo social, el crecimiento económico inclusivo y la inserción del Paraguay al mundo en forma adecuada. De estos ejes se desprenden 12 estrategias para alcanzar el desarrollo y aumentar la calidad de vida de la población (Secretaría Técnica de Planificación, 2014).

Una de las estrategias dentro del eje de Reducción de la pobreza y desarrollo social, es la del “Hábitat adecuado y sostenible”, el cual combina reducción de pobreza, desarrollo social y sostenibilidad ambiental. Sus metas incluyen universalizar el acceso a energía eléctrica de fuentes renovables.

Paraguay es reconocido por su eficiencia en la producción de alimentos a nivel mundial. Cuenta con un sector industrial innovador que impulsa una economía en crecimiento, con índices elevados de desarrollo social en Sudamérica. Estos factores, sumados a una población económicamente activa del más del 50%, hacen que Paraguay tenga un gran potencial para seguir avanzando hacia un desarrollo sostenible.

Además, Paraguay cuenta con un marco normativo para la producción de biocombustibles desde el año 2005. Sin embargo, este marco no contempla la producción de químicos renovables. Por otro lado, tampoco se ha introducido la figura de las biorrefinerías dentro del PND2030, con miras a una transición hacia una política basada en la bioeconomía.

Más aún, Paraguay ha celebrado recientemente el primer taller del “Proyecto análisis de bioeconomía en Paraguay” con miras a la construcción de una estrategia nacional de bioeconomía para Paraguay (Secretaría Técnica de Planificación, 2023).

La transición hacia una bioeconomía es paulatina pero inminente y su implementación debe ser tanto ambiental como económicamente factible. Las biorrefinerías integradas responden a este fin, ya que reducen los costos de producción al obtener simultáneamente una amplia gama de productos de alto valor agregado, entre ellos, químicos y combustibles renovables.

El concepto de biorrefinerías integradas hace referencia a la integración y combinación de diferentes tecnologías y materias primas que permiten maximizar una diversidad de aplicaciones y por ende la generación de diferentes productos, mediante la integración de procesos tanto bioquímicos como termoquímicos (Budarin et al., 2011).

En cuanto a energías renovables, Paraguay se encuentra entre los países con predominante oferta bruta de energía renovable, alrededor del 76% (40% hidroenergía y 36% biomasa), estando el 24% restante compuesto por derivados de petróleo importados. Sin embargo, el consumo final de energía es poco sostenible, la electricidad representa sólo 19% del consumo final, teniendo mayor participación los derivados de petróleo (39%) y la biomasa no certificada (41%) (Lucantonio et al., 2022).

La biomasa residual procedente de la agricultura y silvicultura es relativamente poco aprovechada en el país. Estas actividades económicas representan alrededor del 90% de las exportaciones nacionales, con un volumen anual de residuos de 55 millones de toneladas de material lignocelulósico (año 2020), que en la mayoría de los casos no son aprovechados (Rivaldi, J.D., Shin, H.H., Colmán, F. et al., 2022).

A pesar de que el Paraguay ha incrementado las áreas de reforestación con fines energéticos, el uso de especies nativas es una práctica al día de hoy bastante común. La biomasa residual, apropiadamente densificada, representa una gran oportunidad para la obtención de energía sostenible.

Este trabajo busca consolidar información clave del potencial del desarrollo sostenible en el Paraguay, mediante un análisis crítico de la posible implementación de biorrefinerías a nivel país y de las oportunidades para el sector de energías renovables, junto con la comprensión de los principales desafíos y oportunidades del sector industrial.

METODOLOGÍA

La presente investigación se basa en el análisis de la información recabada durante la revisión bibliográfica realizada. Es del tipo exploratorio-descriptivo, para el cual se hizo uso del análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) para conocer la situación real del Paraguay en cuanto a su potencial para el desarrollo de biorrefinerías y energías renovables.

Finalmente, en las conclusiones se presentan un diagnóstico sobre las oportunidades en investigación, desarrollo e innovación (“I+D+i”) en energías renovables y las estrategias para mitigar los posibles riesgos de implementación de biorrefinerías a mediano y largo plazo a nivel nacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El protocolo de Kioto fue el inicio del compromiso jurídico de las naciones para la reducción de las emisiones globales a la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Recientemente este compromiso fue reafirmado durante la COP27 (United Nations Climate Change Conference) celebrada el 20 de noviembre del 2022, donde además los países participantes reiteraron su compromiso de limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales y de impulsar el apoyo financiero, tecnológico y de desarrollo de capacidades que necesitan los países en desarrollo (Sethia R., 2022).

En este sentido, las potencias mundiales se han planteado metas para reducir emisiones y aumentar el uso de fuentes renovables, destacándose La Unión Europea (UE), pretende satisfacer el 58% de necesidades energéticas domésticas e industriales para el 2050 con bioenergía. De igual forma, países como Estados Unidos (EEUU) y Alemania han incrementado la producción de químicos provenientes de fuentes renovables en los últimos años, con metas de hasta el 25% para 2030 (Kamm y col., 2006b; Dumeignil, 2015).

Biorrefinerías: desarrollo a nivel mundial y en el Paraguay

La UE ha desarrollado a través de su programa EuroBioRef, por sus siglas en inglés, un diseño de biorrefinerías integradas, de manera a que sus estados miembros incrementen al menos al 10% su energía proveniente de fuentes renovables. Este programa ha incluido a industriales, académicos, así como pequeñas y medianas empresas de al menos quince países. El objetivo de EuroBioRef ha sido el de transformar biomasa a partir de cultivos de segunda generación en productos comerciales (Dumeignil, 2015).

Los países en América Latina y el Caribe deben definir metas similares a los de la UE y EEUU, para ello son necesarias estrategias nacionales que impliquen un marco legal para la implantación de bloques de biorrefinerías de los distintos tipos; por ejemplo, plantas que producen ácido láctico o biobutanol a partir de diversas fuentes de biomasa.

Los gobiernos de América Latina han anudado esfuerzos en cuanto al desarrollo de marcos normativos para la producción de biocombustibles. La mayoría de los países cuentan con legislaciones recientes promulgadas en el siglo XXI, particularmente Paraguay cuenta con la Ley 2748/05 “De Fomento a los Biocombustibles”, desde el año 2005.

Otras leyes representativas del marco normativo en Paraguay que apoyan la producción de biocombustibles en el país son: Ley 5444/15 “Fomento de consumo de alcohol absoluto y alcohol carburante”, Decreto 4056/2015 “Programa Nacional de Certificación de Biomasa”. Sin embargo, ninguna contempla la producción de químicos renovables o introduce la figura de las biorrefinerías.

La comunidad científica se ha enfocado en los últimos años en un planteamiento más sostenible de la explotación agroindustrial, desde una visión más amplia basada en la bioeconomía.

Sumado a esto, Paraguay debe mejorar sus asignaciones de fondos y capacidad de I+D+i. En la actualidad, continúa como uno de los países con menor inversión en Investigación y Desarrollo con respecto al PIB, experimentando incluso una disminución desde el 0,16 al 0,15% entre el 2020 y 2021 (Conacyt, 2022).

De acuerdo al Informe de Indicadores de Ciencia y Tecnología en Paraguay (Conacyt, 2022), el porcentaje del gasto nacional de I+D, ejercido por los Institutos de educación superior (IES), se mantiene en niveles altos comparables con los ejercidos por otros países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), siendo su valor del 36% para el 2021. Esta cifra debe representar una mayor inversión en formación de profesionales y capacidades para el desarrollo en I+D+i del país.

A través de la Ley 60/90 y otros factores como la disponibilidad de energía a bajo costo, una estructura impositiva simplificada, mano de obra joven y mercado ampliado con el MERCOSUR, Paraguay atrae inversores que deberían impulsar el desarrollo del sector industrial. Esto es conveniente para el desarrollo de las biorrefinerías a nivel local.

Conforme estimaciones realizadas por la ANDE (Vallejos, 2021), asumiendo una tasa de crecimiento de la demanda del 6,4 % anual, la curva de la demanda igualará la curva de la capacidad máxima disponible en el año 2033 aproximadamente, lo que representará el inicio de la crisis energética en el Paraguay. Por lo tanto, urgen la necesidad de identificación e implementación de nuevas fuentes de energía que complementarán a las existentes.

En este sentido, una oportunidad para diversificar la matriz energética nacional es el aprovechamiento energético de los residuos lignocelulósicos procedentes de los principales cultivos del país (soja, caña de azúcar, maíz, trigo, arroz y mandioca). En el período 2016 - 2020 fue estimado que la cantidad acumulada de estos residuos fue de 47 millones de toneladas. El potencial de energía térmica (TEP por sus siglas en inglés) para estos residuos por combustión directa podría generar más de 225.000 TJ/año, lo que podría generar más de 20.000 GWh/año de energía en una planta termoeléctrica y satisfacer, por ejemplo, la demanda en horas punta (Rivaldi et al., 2022).

Para la diversificación de la matriz energética nacional, no solo se puede recurrir a la densificación y combustión directa de los residuos generados en el campo, sino también a la obtención de productos químicos de interés industrial. En este sentido, numerosos cultivos pueden ser aprovechados para la producción de azúcares por hidrólisis. Por citar un ejemplo de un cultivo

nacional, la biomasa residual del sésamo (compuesta por hojas, cápsulas y ramas) puede ser aprovechada para la obtención de xilosa y otros azúcares por hidrólisis ácida (Romero et al., 2020).

Energías renovables: situación actual a nivel mundial, regional y local

Un mercado de alrededor de 250 mil millones de euros y más de 1,6 millones de personas empleadas, hace que el sector energético europeo todavía se caracterice por una fuerte disparidad entre su producción y su consumo de energía (European Commission, 2019). Mientras que la UE y el Reino Unido consumen casi el 12% de la energía disponible en el mundo, sólo el 5,4% del total producido a nivel mundial se genera internamente (European Commission, 2019).

A pesar de la descarbonización política implementada por la UE durante las últimas dos décadas, los combustibles fósiles (es decir, carbón, gas natural y petróleo) y sus productos siguen siendo las fuentes de energía dominantes utilizadas en la UE, lo que representa 71,8% de la oferta total de energía, con una tendencia decreciente desde el 2010.

Mientras que la participación del petróleo y sus derivados se ha mantenido casi constante con valores que fluctúan en el rango de entre 31,9% - 33% y sin tendencias claras, los combustibles fósiles sólidos (es decir, carbón) y el gas natural disminuyeron en el periodo 2010 a 2017. Así también, la participación de la energía nuclear muestra una tendencia relativamente constante con fluctuaciones en el rango 12,9% a 13,8%.

Por otra parte, la participación de las energías renovables exhibió una tendencia creciente desde el 10,2% en 2010 al 14,4% en el 2020, debido a las nuevas regulaciones y políticas de apoyo a las fuentes renovables de energía desplegadas en toda la UE. Finalmente, la turba y productos de turba, esquisto bituminoso, gases manufacturados y residuos no renovables - exhibieron una participación estable del total de suministro de energía durante el período considerado (De Rosa et al, 2022).

Según la OLADE (2023), a nivel global, desde el año 2015, la mayoría de la nueva capacidad agregada anualmente es de origen renovable, pasando del 58% de la potencia agregada en el 2016 al 81% en el 2021.

En el último año, casi las tres cuartas partes de la nueva generación instalada en el mundo fueron la suma de energía solar fotovoltaica y eólica, con 130 GW y 93 GW nuevos, respectivamente. Como consecuencia, las capacidades instaladas globales de energía eólica y solar están alcanzando ya potencias comparables a la hidráulica: 837 GW eólicos, 903 GW solares y 1230 GW hidráulicos, al cierre de 2021, y representan, en conjunto, el 38% de toda la capacidad de generación actual en el mundo.

Más aún, de acuerdo a la IEA (2022), los planes de expansión previstos para el corto plazo a nivel mundial muestran que, en los próximos 5 años, se instalarán 2400 GW de nueva generación renovable. Es decir, en el transcurso del 2024, la potencia instalada solar fotovoltaica en todo el mundo superará a la hidráulica y, ya en 2027, será la más importante, superior incluso a la de las plantas de carbón.

Sin embargo, esta no parece ser la situación en América Latina y el Caribe. Si bien el porcentaje de potencia instalada de fuentes renovables sigue siendo mayor que el promedio global, esto sigue debiéndose a la fuerte participación histórica de la generación hidráulica: el 41,4% de la capacidad instalada total en América Latina y el Caribe, en 2021, era hidráulica, mientras que sólo el 8,0% era eólica, el 6,2% solar, el 4,8% biomasa y el 0,4% geotérmica.

El dato más relevante es la diferencia en el ritmo de crecimiento de la generación renovable: en 2020 sólo se agregaron 11,6 GW de generación renovable, es decir un crecimiento de sólo 7% en el total de la capacidad instalada renovable de toda América Latina y el Caribe, que era en ese año de 292 GW. Esto es cerca de un tercio del ritmo de crecimiento de las fuentes renovables a nivel global, que es del 9% interanual.

Más aún, para acercarse al ritmo de crecimiento previsto para los próximos 5 años a nivel global, se deberían incorporar más de 150 GW de generación renovable en América Latina y el Caribe entre 2023 y 2027, lo que parece completamente incompatible con el ritmo de crecimiento actual y con los planes de expansión previstos.

Esta rápida comparación permite afirmar que la incorporación de fuentes como la eólica y la solar fotovoltaica no sigue el mismo patrón que en el resto del mundo. Esto nos conduce al siguiente

cuestionamiento: ¿Por qué las energías renovables avanzaron de manera importante en muy pocos países de América Latina y el Caribe? La respuesta a esta interrogante es que la transición energética justa implica mucho más que una definición técnica o regulatoria; es un proceso complejo que incluye problemas políticos, económicos, sociales e institucionales y que involucra una multiplicidad de actores, cuyos intereses no siempre se encuentran alineados (OLADE, 2023). Los recursos de energía renovable de Paraguay son vastos y diversos y tienen un papel importante en mejorar la seguridad energética, mitigar el cambio climático y promover el crecimiento económico alineado con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y con el objetivo de cero emisiones netas del Acuerdo de París.

Para 2020, las energías renovables en Paraguay habían alcanzado una capacidad instalada total de alrededor de 8.832 MW. La capacidad hidroeléctrica por sí sola representó 8.810 MW y la bioenergía 22 MW. A pesar de que las energías renovables son la mayor fuente del suministro total de energía de Paraguay, las emisiones han ido aumentando gradualmente debido al creciente uso de combustibles fósiles, principalmente en el sector del transporte.

Durante el periodo 2010-2019, la importación de derivados del petróleo (principalmente gasolina y diésel) aumentó rápidamente, un crecimiento promedio anual de 5,1%, lo que la convierte en la segunda fuente de energía del país.

Paraguay ve la necesidad de fomentar la diversificación de su combinación energética a través de la adopción de tecnologías de energía renovable y de cero emisiones netas. Esto contribuiría a la descarbonización de los sectores de uso final, la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, la promoción de la eficiencia energética y el logro de cero emisiones netas, al tiempo que atraería inversiones y brindaría diversos beneficios socioeconómicos a la población del país" (IRENA, 2021).

Análisis FODA del desarrollo de biorrefinerías en Paraguay

Para conocer la situación real del Paraguay sobre el potencial para el desarrollo de bloques de biorrefinerías a nivel industrial y sobre las estrategias para mitigar los posibles riesgos de implementación de biorrefinerías a mediano y largo plazo a nivel nacional, se realizó un análisis

de las Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas (“FODA”). El análisis se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis FODA para el desarrollo de biorrefinerías en Paraguay.

Fortalezas	Debilidades
Disponibilidad de un marco regulatorio para el uso y explotación de biocombustibles.	Baja inversión en Investigación y Desarrollo Experimental, en promedio 0,15 % del PIB, entre el 2019 y 2021, respecto a una inversión promedio del 0,56% en América Latina.
Gran biodiversidad y disponibilidad de biomasa distribuida a lo largo del país.	No se cuenta con una estrategia nacional para el desarrollo de biorrefinerías o industrias basadas en biomasa. Incluso las existentes para biocombustibles no se enmarcan en bloques de biorrefinerías.
Se ha incrementado la cantidad de proyectos sobre producción de biocombustibles de segunda y tercera generación (base para las biorrefinerías) con inversión pública y privada.	Débil vinculación entre la academia-industria. Necesidad de políticas claras en relación a propiedad intelectual y mayor incentivo para la academia.
Paraguay tiene un excelente potencial para el aprovechamiento de biomasa lignocelulósica gracias a su desarrollo agroindustrial, que lo ubica entre los principales productores de soja, caña de azúcar, maíz, mandioca, trigo y arroz.	El Paraguay no ha incluido de manera explícita dentro de sus tres ejes estratégicos del “Plan Nacional de Desarrollo: Paraguay 2030”, la implementación de bloques de biorrefinerías, a pesar del fuerte nexo existente con los ODS.
Los porcentajes del gasto nacional de I+D ejercidos por las IES, se han mantenido en niveles altos en los últimos años.	Reducido número de profesionales y personal capacitado en actividades relacionadas con biorrefinerías.
Paraguay tiene el potencial de usar biomasa residual forestal de bosques nativos.	Paraguay aún no ha implementado un estudio oficial del potencial de producción de químicos y otros productos a partir de fuentes renovables.
Se ha iniciado el Proyecto análisis de bioeconomía en Paraguay, que representa una oportunidad para el desarrollo de biorrefinerías integradas	Altos índices de corrupción del país.
	No se tiene aún una estrategia clara de implementación integral de biorrefinerías, que

	abarque la producción de cultivos, el pretratamiento de biomasa, fermentación y procesos enzimáticos, procesos catalíticos y termoquímicos asistidos por un análisis de ciclo de vida (proceso para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad) y una evaluación económica de la cadena de valor.
Oportunidades	Amenazas
Paraguay tiene posibilidades de desarrollo competitivas, gracias a sus fuentes naturales de biomasa, tanto para biodiesel como para bioetanol, biobutanol y otros.	Falta de interés del estado por promover el desarrollo de biorrefinerías en el Paraguay.
Paraguay promueve el uso de biocombustibles, lo que se enmarca dentro de la Agenda de Energía Sostenible 2019-2023 y el Plan Nacional de Desarrollo 2030.	Falta de incentivos y necesidad de inversión de industrias nacionales para la implementación de bloques de biorrefinerías.
Más del 50% de la población en el Paraguay se clasifica como económicamente activa, suministrando mano de obra para la producción de bienes y servicios económicos.	Dependencia del sector de transporte por combustibles fósiles importados.
Ley 60/90 y otros factores como la disponibilidad de energía a bajo costo, una estructura impositiva simplificada, mano de obra joven y el MERCOSUR, deberían impulsar el desarrollo del sector industrial.	Volubilidad del estado en cuanto a fondos disponibles para el avance de actividades científicas y tecnológicas a nivel nacional.
Los investigadores trabajan en redes de investigación de manera a aprovechar las experiencias de otros países al incursionar en la industria de los biocombustibles y químicos renovables.	Falta de información a la ciudadanía en general en políticas enfocadas a la bioeconomía, que provocan una opinión pública negativa ante las Biorrefinerías.
El Plan Nacional de la Caña de Azúcar 2019 destaca el potencial para desarrollar 20.000 hectáreas de nuevos cultivos para el 2023.	

Desarrollo de ingenios azucareros que cuentan en sus instalaciones capacidades instaladas para las primeras biorrefinerías.	
Necesidad de ampliación de producción de biocombustibles para abastecer como mínimo el mercado nacional.	
Necesidad de una política basada en la bioeconomía, que promueva el desarrollo de biorrefinerías integradas para la producción de químicos y otros productos de valor agregado a partir de fuentes renovables.	
Apoyo para la cooperación a países en desarrollo de organismos externos.	

Análisis FODA del desarrollo de energías renovables en el Paraguay

Se realizó un diagnóstico sobre la situación real del Paraguay sobre las oportunidades en investigación, desarrollo e innovación (“I+D+i”) en energías renovables, a través de un análisis de las Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas (“FODA”). El análisis se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis FODA para el diagnóstico del desarrollo en energía renovables en Paraguay.

Fortalezas	Debilidades
El sector de energías renovables paraguayo tiene un fuerte nexo con diferentes aspectos de los ODS.	Limitada capacidad técnica de los recursos humanos.
El marco macroeconómico fortalecido de Paraguay se basa en reglas fiscales, metas de reducción de la inflación, baja deuda pública y reservas de divisas adecuadas.	Las actuales instituciones energéticas en el Paraguay enfrentan limitaciones de capacidad para garantizar la rápida implementación de políticas, programas y estrategias en el sector energético.
La combinación energética en el Paraguay se caracteriza por una alta participación de fuentes renovables.	Las responsabilidades de planificación energética actuales en el país se encuentran dispersas entre diferentes instituciones, lo que

	dificulta el uso del potencial total de energías renovables en el país.
El Paraguay tiene un excelente potencial hidroeléctrico gracias a sus condiciones hidrográficas y cursos de agua que fluyen por las cuencas de los ríos Paraguay y Paraná. Además de la capacidad instalada actual, el país tiene un potencial hidroeléctrico utilizable estimado de 872,7 MW.	Actualmente, el Paraguay está experimentando un desequilibrio entre la oferta y la demanda de personal capacitado con habilidades en actividades relacionadas con la energía, que incluyen política energética, regulación, instalación y mantenimiento de sistemas de energía renovable, certificación de tecnologías y desarrollo de proyectos, entre otros.
El potencial eólico de Paraguay se clasifica como medio a alto, con algunas de las mejores ubicaciones para la generación de energía eólica ubicadas en Alto Paraguay y Boquerón.	Aunque Paraguay tiene experiencia en la explotación del biogás, faltan estudios que cuantifiquen este potencial.
Existe un alto potencial para el uso de energía solar en todo el Paraguay. Las áreas con mayor índice de irradiación se encuentran en Alto Paraguay, Boquerón, Concepción, Amambay, San Pedro, Canindeyú y Alto Paraná.	Paraguay aún no ha implementado un estudio oficial del potencial geotérmico de los acuíferos y la favorabilidad térmica del subsuelo para usos productivos o energéticos.
Paraguay tiene el potencial de usar biomasa forestal de bosques nativos.	La falta de incentivos al uso de energía limpia y penalización al uso de fuentes energéticas contaminantes se considera una debilidad para la transición a las tecnologías renovables.
La ANDE cuenta con un marco legal habilitante para implementar incentivos, cuenta con capacidad y excedentes eléctricos aprovechables para la producción de hidrógeno verde.	
La biomasa residual lignocelulósica es una fuente abundante y renovable poco aprovechada en el Paraguay.	
Oportunidades	Amenazas
Fomentar la diversificación de su combinación energética a través de la adopción de	Poca conciencia del público en general sobre el uso responsable de la energía, y falsa creencia

tecnologías de energía renovable y de cero emisiones netas.	de que el país tiene recursos hidroeléctricos infinitos.
La Política Energética Nacional 2016-2040, Agenda de Energía Sostenible 2019-2023 y el Plan Nacional de Desarrollo 2030 promueve el uso de las fuentes renovables de energía en el Paraguay.	Paraguay enfrenta desafíos para atraer inversiones en ciertas áreas del sector energético, como las energías renovables variables (solar y eólico) y biocombustibles.
Uso de energías renovables más allá del sector eléctrico.	Creciente uso de combustibles fósiles, principalmente en el sector del transporte.
El Paraguay tiene una rica diversidad de recursos de energía renovable que aún no se han evaluado claramente y la elaboración de mapas de recursos podría ayudar en la identificación de zonas con potencial para el desarrollo de proyectos de energía renovable que sirvan a la generación de electricidad u otras aplicaciones.	La sostenibilidad de las zonas boscosas en la región oriental del Paraguay se ha visto afectada por la conversión para el desarrollo agrícola y por la demanda de leña de los sectores residencial e industrial.
Por la posición geográfica del Paraguay y los recursos naturales disponibles para la producción de energías renovables, el Paraguay podría convertirse en un HUB de energía limpia.	El cambio climático ha estado afectando la producción de electricidad a partir de recursos hidrológicos, y los recientes largos periodos secos en las cuencas hidrográficas amenazan la seguridad energética del país.
La generación de energía a partir de tecnologías renovables como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica terrestre ha experimentado una reducción de costos significativa en la última década. La reducción de costos de las tecnologías de energía renovable variable tiene el potencial de ser competitiva en el contexto paraguayo.	Debido a que la capacidad instalada actual satisface la creciente demanda de electricidad, el interés en usar otros recursos de energía limpia se ha mantenido bajo.
Paraguay tiene una diversidad de recursos renovables sin explotar que podría mitigar el uso de combustibles fósiles y desempeñar un papel clave en la diversificación de la combinación energética y la mejora de la seguridad energética.	La incertidumbre en los precios del petróleo.

Oportunidad de exportación de energía renovable de fuentes renovables variables, biomasa, geotermia, etc. al mercado eléctrico.	Aún no existen incentivos para que el sector privado quiera invertir en tecnologías renovables.
El uso de bioenergía, energía solar y energía eólica se ha explorado brevemente en el país, pero otros recursos como la energía geotérmica de baja temperatura aún no se han considerado y podrían contribuir a la descarbonización de los sectores industrial y agrícola.	
La alta irradiación solar del Paraguay combinada con la capacidad de absorción de calor del subsuelo sugiere que existe un potencial geotérmico que podría tener aplicaciones para bombas de calor.	
El Plan Nacional de la Caña de Azúcar 2019 destaca el potencial para desarrollar 20.000 hectáreas de nuevos cultivos para el 2023 que se pueden usar con fines energéticos.	
Los recursos naturales que posee el Paraguay posibilitará la opción de producir hidrógeno verde.	
Por las fuentes renovables de energía que se tienen en el Paraguay, existe una ventaja para la formación de precios estables y previsibles.	
La abundante disponibilidad de energía solar del Paraguay podría ser aprovechada para una mayor producción de energía eléctrica.	
En materia ambiental, existe un conjunto de compromisos asumidos mediante distintas convenciones, que apuntan a una reducción de la contaminación causada, entre otros, por el transporte.	
Existe un interés de distintos organismos con fondos disponibles para la cooperación a países en desarrollo.	

CONCLUSIONES

Paraguay se encuentra en camino hacia un Plan Nacional de Desarrollo Sostenible. Sin embargo, a pesar de que Paraguay presenta un gran potencial para el desarrollo de la bioeconomía y cuenta con leyes para la explotación y producción de biocombustibles, el concepto de bioeconomía ha recibido poca atención en las políticas públicas, y no se han creado aún estrategias claras dedicadas a su implementación.

Es sabido que la sola producción de biocombustibles no es redituable y en muchos casos, es no sostenible. Por ello, se hace necesaria la generación de otros bioproductos de alto valor agregado de manera a lograr una factibilidad económica en la producción de biocombustibles, lo que se enmarca dentro del concepto de una biorrefinería.

Del análisis de la matriz FODA realizado se propone como estrategias para mitigar los posibles riesgos de implementación de biorrefinerías a mediano y largo plazo a nivel nacional, las siguientes: (1) incrementar la asignación de recursos del estado para el fortalecimiento de la actividades de I+D+i; (2) apoyarse en el marco regulatorio nacional de biocombustibles para proponer la instalación de biorefinerías; (3) establecer incentivos económicos y mecanismos financieros para lograr competitividad de las energías renovables frente a las fuentes convencionales, de manera a que las empresas quieran invertir en proyectos piloto; (4) incentivar la transferencia de tecnología desde la academia a la industria, a través de programas de apoyo como PROCENCIA y PROINNOVA del CONACYT; (5) aprovechar la capacidad instalada en ingenios azucareros y otras instalaciones de generación de electricidad a partir de biomasa como base de infraestructura para el desarrollo tecnológico a futuras biorrefinerías; (6) aprovechar las facilidades del país para atraer inversionistas para el desarrollo de empresas biotecnológicas y termoquímicas.

Por otro lado, se espera que para el año 2033, en el Paraguay la demanda iguale a la producción de energía, lo cual pone en la necesidad urgente de planificar y fomentar la identificación de nuevas fuentes de energía y su implementación con una visión de largo plazo.

El análisis de la situación actual del sector energético permite concluir que los desafíos apuntan a la necesidad de contar con una matriz energética más diversificada y sostenible, con fuerte participación de fuentes renovables de energía autóctonas como la energía solar, ya que el aprovechamiento de la energía solar, tanto de manera directa para usos térmicos como mediante la conversión fotovoltaica, es viable y conveniente.

Con respecto a las energías renovables en el Paraguay, actualmente existen áreas que necesitan de investigación como, por ejemplo, biogás, energía geotérmica, almacenamiento de energía de fuentes renovables variables, hidrógeno verde, biocombustibles, etc.

El Paraguay cuenta con recursos naturales, bosques, agua, suelo fértil y una amplia biodiversidad. Esta disponibilidad de recursos naturales autóctonos le otorga un enorme potencial de desarrollo sostenible. Sin embargo, uno de los mayores desafíos es conciliar las necesidades de crecimiento económico e industrialización con el aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales.

LISTA DE REFERENCIAS

Budarin, V.L., Shuttleworth, P.S., Dodson, J.R., Hunt, A.J., Lanigan, B., Marriott, R., Clark, J.H. (2011). Use of green chemical technologies in an integrated biorefinery. *Energy Environ. Sci.*, 4(2), 471–479. <https://doi.org/10.1039/c0ee00184h>.

Columbia Center on Sustainable Investment (CCSI), Quadracci Sustainable Engineering Lab at Columbia University y Centro de Recursos Naturales, Energía y Desarrollo (CRECE). Nueva York: CCSI, noviembre de 2021. Evaluación y Planificación del Sector Energético del Paraguay: Vías de Descarbonización. Disponible en: <http://ccsi.columbia.edu/content/paraguayenergy>

CONACYT (2022). Informe final de Indicadores de CyT Paraguay 2021. Disponible en: https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u489/Informe-final-ACT-2021.pdf. Consultado en fecha: 21 de marzo del 2023.

De Rosa, Mattia; Gainsford, Kenneth; Pallonetto, Fabiano; Finn, Donald P. (2022). Diversification, concentration and renewability of the energy supply in the European Union. *Energy* (253) 2022 124097.

Dumeignil, F. (2015). Eurobioref: a step forward to next-generation biorefineries. In the 23rd European Biomass Conference and Exhibition.

European Parliament and Council (2001). DIRECTIVE 2001/77/EC on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market [Internet].

Disponible en: <https://leap.unep.org/countries/eu/national-legislation/directive-200177ec-european-parliament-and-council-promotion>

European Commission (2019). EU energy in figures. European Union. Technical Report.

European Council (2007). Presidency conclusions of the Brussels European Council (March 2007).

European Union (2012). Treaty of functioning of the European union. Eur Union 2012: 47–390. Article 194 (1).

EC. A. (2018). Clean Planet for all: a European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive climate. November, 2018.

IEA. (2022). Renewables 2022. Analysis and forecast to 2027. IEA Publications. International Energy Agency. 159 pages.

IRENA (2021), Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables de IRENA: Paraguay, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi.

Kamm, B., Kamm, M., Gruber, P.R. y Kromus, S. (2006b). Biorefinery Systems - An Overview. En: Biorefineries - Industrial Processes and Products, (B. Kamm, P.R. Gruber y M. Kamm, eds.), Pp. 3-40. WileyVCH.

Lucantonio, F., Sosa, J., & Aiello, R. G. (2022). Breve reseña del sector de energía en Paraguay.

OLADE (2023). Estrategia para una América Latina y el Caribe más renovable. Primera Edición – Febrero de 2023 ISBN: 978-9978-70-154-6.

PNUD (2020). Informe Nacional sobre Desarrollo Humano. Paraguay 2020. Energía y Desarrollo Humano. 318 páginas.

PNUD (2021). Informe “La Prospectiva Energética 2050 de Paraguay: el desafío de extender la sostenibilidad energética en los usos finales” Resumen, conclusiones y

desafíos. Asunción, Py. 17 páginas.

Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social (2014). Plan Nacional de Desarrollo: Paraguay 2030. Disponible en: <https://www.stp.gov.py/pnd/wp-content/uploads/2014/12/pnd2030.pdf>. Consultado el 15 de marzo de 2023.

Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social (2023). Disponible en: <https://www.stp.gov.py/v1/stp-participa-del-primer-taller-del-proyecto-analisis-de-bioeconomia-en-paraguay/>. Consultado el 21 de marzo de 2023.

Sethia, R. (2022). Decoding COP27: Walking towards the Road to Implementation.

Vallejos Mernes, J. M. (2021). Plan Maestro de Generación de Mediano y Largo Plazo. Primer Congreso Capítulo WEC Paraguay.

Rivaldi, J.D., Shin, H.H., Colmán, F. *et al.* Thermochemical characterization and assessment of residual biomass energy in Paraguay. *Biomass Conv. Bioref.* (2022). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03155-z>

Romero, GA. Alves Silva, JP. Rivaldi, JD. Biomasa de sésamo (*Sesamum indicum* L) como fuente potencial de materia prima para biorrefinerías. 23° COBEQ.