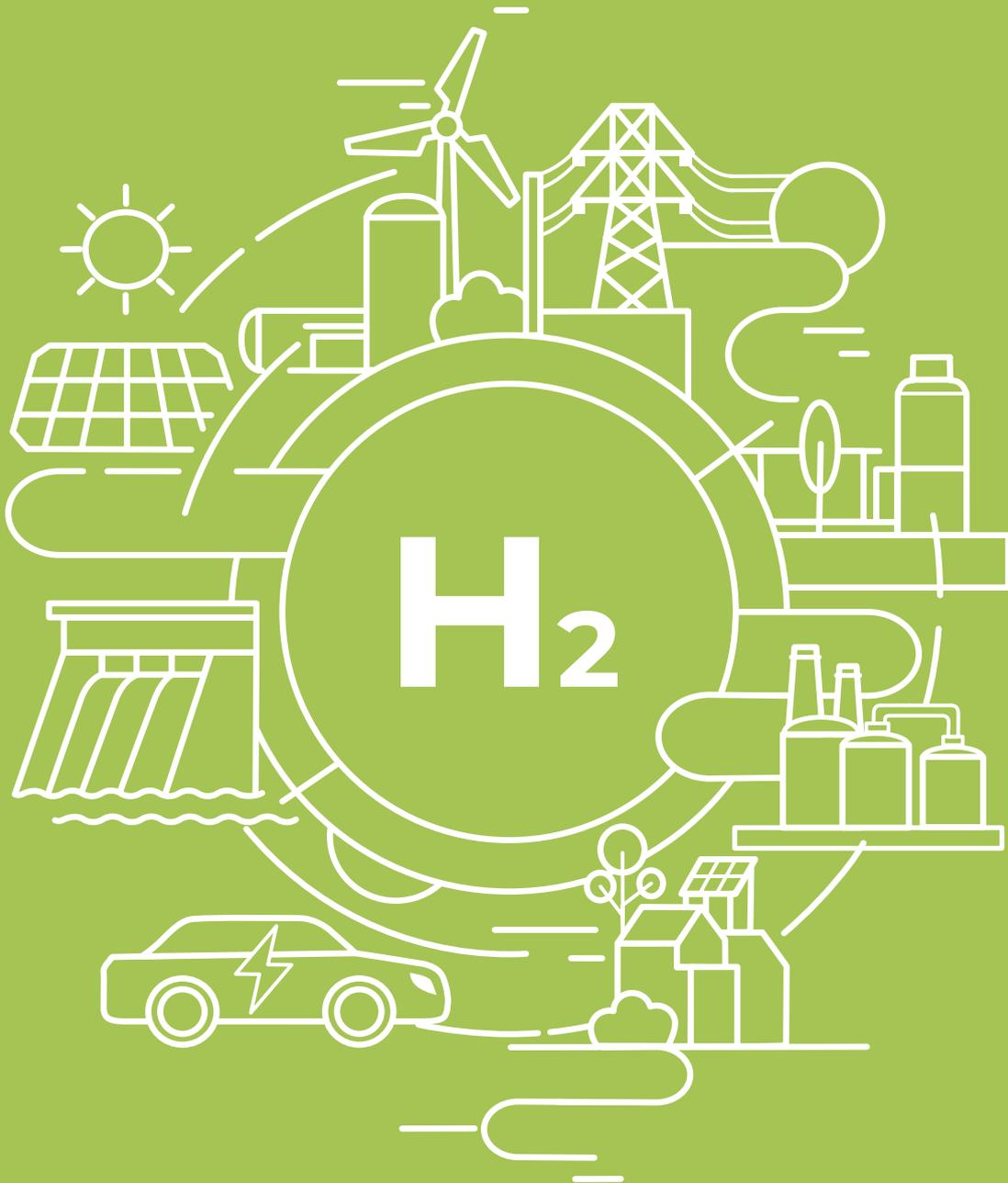


HACIA LA RUTA DEL Hidrógeno Verde en Paraguay



Ministerio de
**OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES**
Viceministerio de
MINAS Y ENERGÍA

PROPUESTA DE INNOVACIÓN

Lineamientos de un proyecto
demostrativo de suministro y utilización
de hidrógeno verde en el Paraguay

Junio 2021

El Viceministerio de Minas y Energías (VMME) agradece a las siguientes instituciones por la colaboración en la preparación del presente documento: Administración Nacional de Electricidad (ANDE), Petróleos Paraguayos (PETROPAR), Ministerio de Industria y Comercio (MIC), Viceministerio de Transporte (VMT), Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES), Parque Tecnológico Itaipu (PTI), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), CRECE Paraguay, Instituto de Investigación en Energía de Cataluña (IREC).

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo, a través de los lineamientos y propuesta de un proyecto demostrativo, apunta a ser un catalizador para el desarrollo de la economía del hidrógeno (H₂) verde en Paraguay a modo de suplir las necesidades energéticas y contribuir al desarrollo productivo. Además, se constituye como un complemento a las acciones nacionales en materia de movilidad urbana sostenible en desarrollo, como una alternativa para mitigar el impacto ambiental y en salud pública debido a las actividades de movilidad y transporte, ya que a estas se les atribuye la mala calidad del aire, la contaminación sonora y el incremento de la temperatura en los centros urbanos.

El hidrógeno verde (a partir de energía renovable) es un vector energético (portador de energía) con una huella de Dióxido de Carbono (CO₂) nula que representa una oportunidad para la transición a energías limpias a corto, mediano y largo plazo, particularmente en el transporte de carga y pasajeros de larga distancia, tanto terrestre como fluvial (con perspectivas en desarrollo para el sector de aviación). Su valor energético se destaca también en usos industriales y en el almacenamiento de energía para la gestión de demanda eléctrica. Es de importancia resaltar que el país tiene un enorme potencial para la producción de hidrógeno verde a precios competitivos de alrededor de 2,2 USD/kgH₂¹ (Gustavo Arturo Riveros-Godoy y M. Rivarolo 2019), valor menor a los recomendados por la Agencia Internacional de Energía (IEA 2019). La problemática que da origen al interés global por el hidrógeno verde se sustenta en el incremento de las actividades humanas que ha elevado los requerimientos energéticos, comprometiendo los recursos naturales e incrementado las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el uso de combustibles fósiles. En particular, el Sector Transporte

es uno de los principales responsables, y en Paraguay uno de los mayores consumidores de energía y de combustibles fósiles (totalmente importados).

EL TRABAJO PRESENTA UNA PROPUESTA DE INNOVACIÓN AL CUAL ACOMPAÑA UN DOCUMENTO ANEXO QUE RESUME EL MARCO CONCEPTUAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DEMOSTRATIVO ESTRUCTURADO EN DOS LÍNEAS DE ACCIÓN:

Línea de Acción 1: Generar lineamientos estratégicos, marcos de política, promoción y de regulación y capacidades institucionales y técnicas para el desarrollo de la economía del H₂ verde, como un instrumento de transición energética y de mitigación del cambio climático en sectores pendientes de la economía en el país. Se enfatiza el aprovechamiento de las condiciones geográficas y de recursos energéticos del país para fomentar el desarrollo industrial de la cadena de valor con generación de empleo local.

Línea de Acción 2: Instalar plantas piloto de producción de H₂ verde (ver Tabla 18 en Anexo) a partir de la electrólisis de agua con energía renovable para su utilización como vector energético y demostrar su viabilidad. Se busca conectar las tres principales áreas comerciales de Paraguay: Área Metropolitana de Asunción (AMA), Ciudad del Este y Encarnación. La demanda mínima inicial por parte de vehículos será provista por el proyecto y las agencias de gobierno promotoras en su plan de renovación de flota. Esto tendrá un efecto multiplicador: el suministro y la demanda crecerán con la participación de empresas

¹ Precio estimado del Hidrógeno Verde producido a gran escala, obtenido vía electrólisis del agua utilizando electricidad de fuentes renovables.

privadas, del transporte público y de carga que se espera atraer con las actividades de promoción aludidas en la Línea de Acción 1.

Se estima que la aceptación del H₂ verde como sustituto de combustibles fósiles en el Paraguay tendrá múltiples beneficiarios, tales como: el medio ambiente al fomentar el uso de recursos renovables; la población en general al mejorar las condiciones para la salud; la macroeconomía y la balanza de pagos al sustituir combustibles importados por fuentes energéticas propias y contribuir a la reactivación económica; los fabricantes y comercializadores de insumos de la cadena de valor del H₂ verde (electrolizadores, vehículos, infraestructura, etc.) a través de la generación de empleo potenciando la industria nacional; los profesionales, técnicos y académicos al capacitarse en nuevas tecnologías, entre otros.

En cuanto a la Propuesta de Innovación con fines demostrativos, los beneficios más específicos del proyecto piloto (en adelante, el Proyecto) incluyen: a la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), por evaluar nuevas formas de almacenamiento de energía para mejorar la gestión de demanda así como por una mayor venta de energía para producir H₂ verde; PETROPAR, por iniciar la transición hacia fuente limpias y sostenibles de energía; al Viceministerio de Minas y Energía (VMME) y al Viceministerio de Transporte (VMT), al generar capacidades para el desarrollo de instrumentos de política y regulación relacionados con la transición energética en los sectores pendientes de la economía; al Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) por apoyar las acciones de mitigación del cambio climático; al Ministerio de Industria y Comercio (MIC) por apoyar el desarrollo de nuevas industrias; la Academia, al fortalecer sus currículos y profesionales a partir del entrenamiento ganado; y al país, al evaluar tecnologías

para fortalecer la seguridad energética a futuro. Asimismo, el Proyecto puede constituir un laboratorio para testeo de equipamiento con una perspectiva regional² beneficiando también a la región. Se pretende además desarrollar condiciones que atraigan la inversión privada para activar y potenciar el mercado del H₂ verde en el país y en la región, así incentivar la generación de empleos verdes.

En los 10 años de vida de las tres plantas piloto se estima, en esa escala, producir hidrógeno verde a precio inferior a 3 USD/kgH₂. Se empleará mano de obra directa e indirecta, se evitará la emisión de CO₂ en el orden de 21.170 toneladas suponiendo un consumo al equivalente de 7.358.400 litros de gasolina que serán reemplazados por los 1.168.000 kg de H₂ producido a lo largo del período. Además, el consumo de energía eléctrica de 6,57 GWh/año significará una recaudación anual del orden de 172 mil USD para la ANDE (considerando la operación de las tres plantas). En cuanto a la generación de capacidades, se espera formar a representantes de las diferentes carteras ministeriales e instituciones involucradas en el proyecto (más de 60 personas) entre directores, técnicos y formadores. También, se considera desarrollar las condiciones que permitan la activación del mercado del hidrógeno orientado a favorecer a las inversiones del sector privado, esto implicará Investigación y Desarrollo (I+D), tanto a nivel técnico como jurídico.

Finalmente, según los lineamientos del Proyecto y las estimaciones realizadas, se podría requerir una inversión global con todos los complementos, algunos vehículos y la componente de generación de capacidades de 10 M USD para su implementación. Este presupuesto será considerado para la búsqueda de cofinanciamiento de fondos no reembolsables que puedan ser aplicables.

² Inversión de impacto en Paraguay 2020, PNUD (<https://www.py.undp.org/content/paraguay/es/home/library/inversion-de-impacto-en-paraguay.html>).



Abreviaturas y siglas

A

AMA
Área Metropolitana de Asunción 21, 23

C

CO₂
Dióxido de Carbono 13

F

F-PTI
Fundación Parque Tecnológico Itaipú 30

H

H₂
Hidrógeno 20, 22, 23, 24, 25, 32, 33

M

MAWP
Maximum Allowable Working Pressure 33

V

Vector Energético o Portador de Energía
Se denomina vector energético a aquellas sustancias o dispositivos que almacenan energía, de tal manera que ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada. El Hidrógeno es un tipo de vector energético 17se denomina vector energético a aquellas sustancias o dispositivos que almacenan energía, de tal manera que ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada. El Hidrógeno es un tipo de vector energético 13

Contenido

1 La Propuesta de Innovación	09
2 Descripción del Problema	11
3 Objetivos	17
3.1 Objetivo General	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4 Descripción General del Proyecto	19
4.1 Línea de Acción 1: Promoción y desarrollo de la Economía del Hidrógeno Verde en Paraguay	20
4.2 Línea de Acción 2: Desarrollo de un plan piloto demostrativo de H ₂ Verde	24
4.2.1 Análisis de Alternativas	25
4.2.2 Subcomponente 1: Suministro del H ₂ verde	27
4.2.3 Subcomponente 2: Utilización del H ₂ verde	29
4.2.4 Fase subsiguiente	30
5 Beneficios y Beneficiarios	31
6 Guía para Implementación	33
6.1 Matriz de Actores	34
6.2 Responsabilidades y Gestión del Proyecto	36
6.2.1 Propuesta de Agencia Ejecutora	36
7 Presupuesto general	37
8 Anexos	39
9 Referencias	53

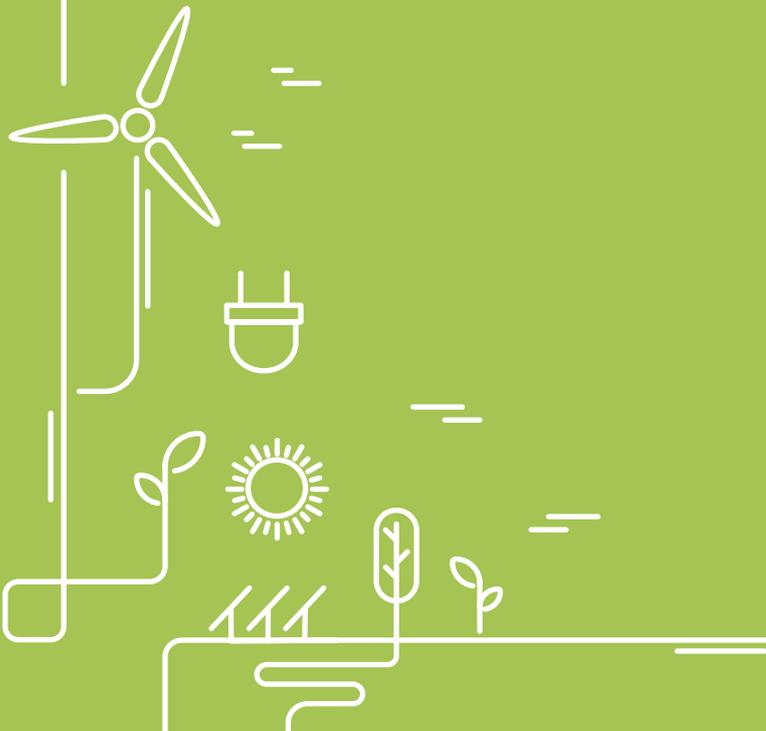
GRÁFICOS E ILUSTRACIONES

Gráfico 1. Proyecciones del consumo de diésel para tres escenarios propuestos en la Prospectiva Energética de la República del Paraguay 2013-2040 _____	13
Gráfico 2. Gastos en investigación y desarrollo como proporción del PIB _____	22
Gráfico 3. Ubicación de la Planta Piloto en Villa Elisa _____	28
Gráfico 4. Alternativa A _____	45

TABLAS

Tabla 1. Capital de inversión de alternativas y costos de operación y mantenimiento _____	25
Tabla 2. Alternativa Seleccionada. _____	26
Tabla 3. Dimensionamiento de demanda con base en 72kg de H ₂ por día. _____	26
Tabla 4. Tramos que pretende cubrir el proyecto _____	27
Tabla 5. Hitos del proyecto en la Línea de acción 2 _____	27
Tabla 6. Presupuesto General _____	38
Tabla 7. Fuentes de Financiamiento genéricas [USD] _____	38
Tabla 8. Costo y características de las principales tecnologías de electrólisis. _____	40
Tabla 9. Características de los electrolizadores comercialmente disponibles considerados _____	40
Tabla 10. Equipos para una estación de recarga de hidrógeno convencional, y costos estimados. _____	41
Tabla 11. Cálculo del CAPEX para Estaciones de Hidrógeno con producción in situ _____	42
Tabla 12. Cálculo del OPEX para Estaciones de Hidrógeno con producción in situ _____	43
Tabla 13. Coordenadas de alternativas para la ubicación de la Planta en Villa Elisa _____	44
Tabla 14. Características de las tres ubicaciones para la planta en Villa Elisa _____	44
Tabla 15. Presupuesto Detallado para la Administración del Proyecto _____	45
Tabla 16. Descripción de Actividades para el Línea de Acción 1 _____	46
Tabla 17. Resultados Esperados del Proyecto _____	47
Tabla 18. Características Básicas Relevantes del Proyecto _____	48
Tabla 19. Presupuesto Detallado para la Línea de Acción 1 _____	49
Tabla 20. Presupuesto Detallado para la Línea de Acción 2 _____	50
Tabla 21. Cronograma de Actividades Generales para la Instalación _____	51
Tabla 22. Cronograma de Actividades Compra de Vehículos (Propuesta) _____	52
Tabla 23. Beneficios de la producción de hidrógeno verde por las tres plantas en 10 años. _____	52

01. Propuesta de innovación



01.

PROPUESTA DE INNOVACIÓN

La propuesta “Hacia la ruta de Hidrógeno Verde en el Paraguay” es una iniciativa para promover y evaluar la viabilidad de la economía del hidrógeno verde en Paraguay. Con vistas a impulsar una transición tecnológica y energética viable en un país exportador de energía eléctrica de fuente renovable, principalmente para la descarbonización del sector transporte de cargas y pasajeros de larga distancia.

LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN ASPIRA A DEMOSTRAR LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE HIDRÓGENO VERDE - PRODUCIDO A PARTIR DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA ABUNDANTE EN EL PAÍS.

Asimismo, permitirá relevar datos e informaciones útiles para diversos propósitos: evaluaciones socioeconómicas de escenarios de uso del hidrógeno en el país; formulación de políticas, regulaciones y normativas; y generar un escenario sostenible para la reactivación económica con

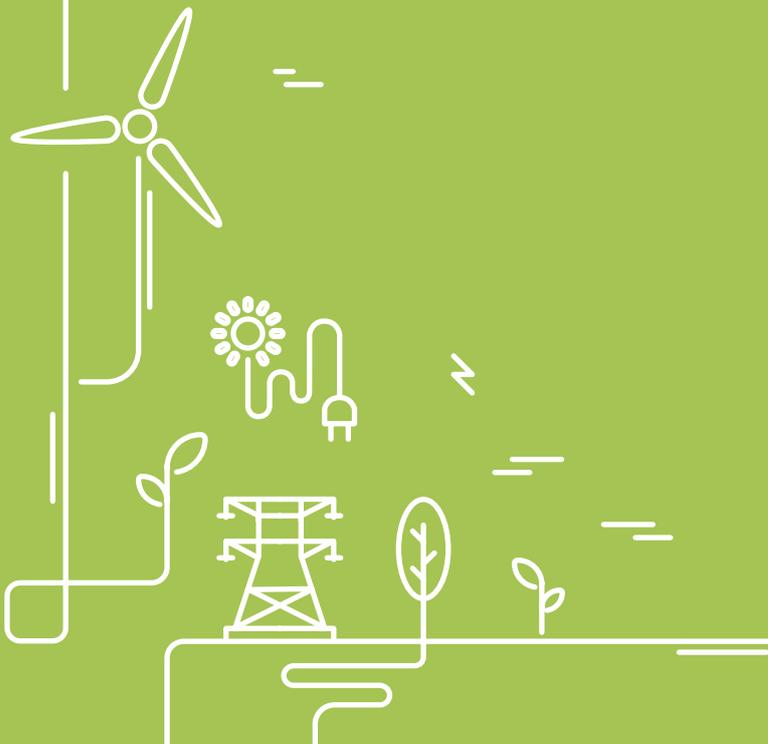
base en el uso de un nuevo vector energético en la matriz energética, que podrá contribuir de manera substantiva para lograr la descarbonización de las actividades económicas del país.

Esta propuesta incluye módulos de creación de capacidades institucionales relacionadas con la gestión del ciclo del hidrógeno verde obtenido mediante la electrólisis de agua, desde su producción hasta su uso final. También busca explorar mecanismos que faciliten la participación del sector productivo en la matriz energética nacional por medio de las cadenas de valor del mencionado ciclo.

Los lineamientos presentados en este trabajo junto con la propuesta de proyecto demostrativo constituyen los primeros pasos que busca dar el gobierno paraguayo para desarrollar la economía del hidrógeno verde en el país, con el objetivo de complementar la descarbonización de los sectores pendientes de la economía fomentando el desarrollo productivo e impulsando un crecimiento económico verde y sostenible.

02.

Descripción del Problema



02.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El incremento de las actividades humanas ha elevado los requerimientos energéticos comprometiendo los recursos naturales e incrementado las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el uso de combustibles fósiles. Si bien el Paraguay cuenta con abundantes recursos naturales renovables – en particular, energéticos – tiene varios asuntos pendientes en materia energética. La matriz de consumo final de energía del país tiene una fuerte participación de combustibles fósiles importados (alrededor del 41% del consumo final total de energía), mientras que la electricidad, que es producida de fuentes prácticamente 100% renovables, representa una participación de sólo 16% (VMME 2019). Esto es reconocido tanto por la PEN 2040 y el PND 2030, donde se destaca la necesidad de la transición energética hacia un modelo con mayor participación de la electricidad proveniente de fuentes nacionales y renovables. Incluso estas agendas sostienen que, para lograr la transición, uno de los principales sectores que deben ser atendidos es el de movilidad y transporte siendo el principal consumidor de energía. Tanto es así que en el PND 2030 se propone reducir en 20% el consumo de hidrocarburos importados, y la PEN 2040 se pone metas para el fomento de la movilidad eléctrica y la promoción de combustibles nacionales.

En tal caso, es evidente que, entre los consumidores de combustibles fósiles, el mayor responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y CO₂ es el sector de transporte. Esta es una condición común a gran parte de los países de América Latina y el Caribe (ALC), según se reconoce en estudios del BID que expone que la proporción de emisiones per cápita

de CO₂ originadas por el transporte es una de las más altas entre las regiones a nivel global (Rivas, Suárez-Alemán y Serebrisky 2019). Además, el mencionado estudio³ cita que la tasa de motorización a nivel regional es uno de los más altos a nivel mundial, junto con Asia y Medio Oriente. En esos términos, Paraguay está alrededor del 3,4%, y cada año va subiendo según la tendencia. Es decir, cada año, en el país, se incrementa la flota vehicular en ese porcentaje con respecto a los valores del año anterior. Esto se traduciría en graves problemas tanto para la calidad del aire como para la salud pública a nivel nacional – regional a futuro. Además, es una fuerte presión para la expansión y mejora de la infraestructura vial. Según un reporte de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) – Organización Mundial de la Salud (OMS) en todo el mundo, 4,2 millones de muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire en el 2016 contribuyendo al 7,6% de todas las muertes en ese mismo año (Sánchez 2020). Alrededor del 88% de estas muertes ocurren en países de ingresos bajos y medios, como varios países de la región. Bajo una mirada local, en Asunción el nivel de contaminación excede un 80% el nivel seguro dictado por la Organización Mundial de la Salud, conllevando un número significativo de defunciones al año que seguirá creciendo de no tomarse medidas (OMS 2019).

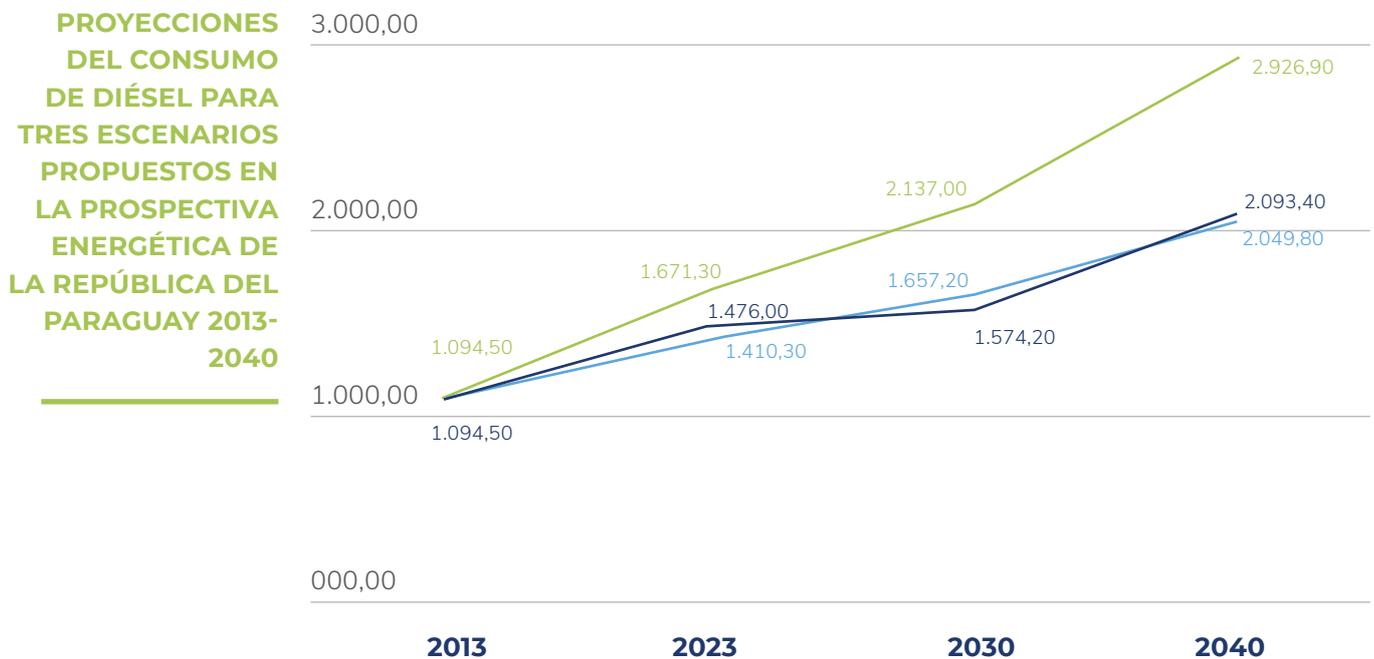
El impacto ambiental del sector transporte es significativo con consecuencias a nivel global, la salud pública y la calidad de vida. Al transporte se le atribuye la mala calidad del aire, la polución sonora y el incremento de la temperatura en centros urbanos tanto que se ha identificado como prioritario para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

³ Hechos estilizados de transporte urbano en América Latina y el Caribe.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18235/0001606>

Según informes del Estudio de Consumo de Energía del Sector Transporte que forma parte del Balance Energético Nacional en Energía Útil del Paraguay (BNEU)⁴, en el año 2011 el consumo de Diesel en el sector Transporte rondaba los 863,32 ktep, por lo que el consumo neto de diésel para el sector transporte terrestre se aproximaba a los 858,57 ktep. Estudios más recientes, han determinado que el consumo total de energía del sector transporte terrestre ronda los 1.313,7 ktep, de los cuales el 65,4% corresponde a diésel, seguido por la nafta con el 27,5%, por el alcohol en tercer lugar con el 5,7% y por último el GLP con el 1,4% (Prospectiva Energética de la República del Paraguay 2013-2040)⁵.

El 59,4% del consumo de energía del sector transporte terrestre corresponde al transporte de pasajeros y el 40,6% al de cargas. El 44,5% del consumo del Diesel se efectúa en el transporte de personas (principalmente en ómnibus y minibuses con el 18% del total y camionetas 4x4 con otro 15% adicional), mientras que el transporte de cargas demanda el 55,5% restante. Los camiones son el medio de locomoción con mayor responsabilidad sobre el total del consumo de Diesel a nivel nacional considerando todos los sectores con el 25,2%, encontrándose en tercer lugar las camionetas 4x4 con el 15% (Prospectiva Energética de la República del Paraguay 2013-2040).

GRÁFICO 1.



Fuente: Prospectiva Energética de la República del Paraguay 2013-2040

⁴ El gobierno de Paraguay se encuentra en los procesos para iniciar la actualización del BNEU.
⁵ (Itaipú Binacional, Fundación Parque Tecnológico Itaipú y Fundación Bariloche 2015).

ESCENARIOS ESTABLECIDOS EN LA PROSPECTIVA ENERGÉTICA CON RESPECTO AL CONSUMO DE DIESEL OÍL

Escenario A (Referencia): no habrá grandes cambios en la participación de las fuentes en el consumo neto total debido a las sustituciones y medidas de eficiencia energética diferenciadas en las fuentes.

Escenario B (Alternativo): el Biodiesel que empezará con una participación más significativa en la mezcla con Diesel a partir del año 2018 y que se irá incrementando paulatinamente de modo que en 2040 represente el 3,4% del consumo neto total.

Escenario C (Alternativo): el Gas Natural en el escenario Alternativo sustituirá a Gas Licuado y Diesel, resultado una mayor reducción de la participación de estas fuentes.

Otro tema pendiente es la necesidad de mejorar el sistema de transporte público de pasajeros. Según estudios del BID, la calidad de este servicio a nivel regional es peor que en los países de economías avanzadas (Rivas, Suárez-Alemán y Serebrisky 2019). El mismo estudio encontró que el tiempo de viaje promedio en transporte público en un día laboral en Asunción es de 100 minutos, superior a la media regional, y por encima del promedio de 64 minutos de las economías avanzadas, aun cuando la distancia promedio de viaje es mucho menor.

En cuanto a indicadores de asequibilidad de transporte en ciudades seleccionadas de ALC en el año 2018 un ciudadano de Asunción, con salario promedio bajo ocupaba cerca del 16,3% de sus ingresos para movilidad, con esto se sostiene que el gasto en servicios de transporte de los hogares de bajos ingresos es el más alto entre todas las regiones en vías de desarrollo, con mayores efectos negativos sobre las naciones menos desarrolladas. Entre otras cuestiones que se pueden citar, por ejemplo, la productividad del transporte público se ha estancado o incluso disminuido en la región, varias ciudades en la región no cubren los costos operativos con los ingresos provenientes del cobro de tarifas. Además, se ha encontrado que las mujeres son las principales afectadas por estos

factores siendo el segmento de la población que más viajes realiza a pie y en transporte público, ya que acceden menos al transporte privado. Del total de licencias de conducir emitidas en ciudades seleccionadas de ALC, sólo alrededor del 25% pertenecen a mujeres. Todas estas realidades regionales son comunes a la situación que vive el sector transporte público de Paraguay.

EN LA ACTUALIDAD, EN PARAGUAY EXISTEN VARIAS INICIATIVAS RELACIONADAS A LA MOVILIDAD ELÉCTRICA.

Sin embargo, la mayoría de estas, casi en un 100% son relacionadas a la tecnología de vehículos eléctricos a baterías, se cuentan con algunos buses eléctricos importados de manos del sector privado y de donaciones en el marco de cooperaciones con otros países aliados⁶. Al momento no se ha registrado ninguna iniciativa que pretenda promover el uso del hidrógeno en el sector transporte. Esta es una gran problemática. Según la Agencia Internacional de Energía un paso importante para promover el uso de este vector energético lo constituyen los proyectos de I+D+D (Investigación, Desarrollo y Demostración).

⁶ La densidad energética de las baterías por ejemplo 200 Wh/kg en el nuevo Nissan LEAF, limitan por peso, volumen y costos la autonomía de la movilidad eléctrica en base a baterías, para un automóvil ligero se precisa 17 kWh para 100 Km, entonces para una autonomía de 300 Km se necesita una batería de más de 250 kg que es casi más del 30% del peso del vehículo.

El país cuenta con las condiciones ideales para el despliegue de la economía del hidrógeno. En complemento, existe un marco de política habilitante (Política Energética Nacional 2040, Plan Nacional de Desarrollo como los más relevantes), cómo es posible notar en las metas nacional y los acuerdos suscritos en espacios internacionales (las Contribuciones Nacionalmente Comprometidas, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre otros). Incluso, para el uso del hidrógeno en el sector transporte se podría aprovechar la existencia de la Ley N° 5183/2014 que exonera del pago de impuestos aduaneros e IVA a la importación de vehículos eléctricos (VEs). Es claro el interés del gobierno en la adopción y promoción de fuentes nacionales de energía bajas en carbono. Sin embargo, estos procesos podrían verse comprometidos por la condición sanitaria actual. Sin el acompañamiento y coordinación de esfuerzos podría presentarse retrasos considerables para el desarrollo de tecnologías verdes. Desde el primer trimestre del año 2020 los precios del crudo del petróleo experimentaron reducciones interesantes debido al brote de coronavirus. Esto se ha acentuado con la condición sanitaria global que ha provocado reducciones aún más significativas debido al exceso de oferta y poca demanda existente, como consecuencia de las medidas de contención adoptadas en la mayoría de los países afectados por la pandemia del COVID-19 como en Paraguay. Esto podría representar una importante amenaza para el futuro de los programas orientados a mitigar los efectos del cambio climático, si los paquetes de incentivos para re-

activar las economías no considerasen programas verdes. Según un reporte de la Agencia Internacional de Energía, se esperan grandes caídas de emisión de CO₂ cerca del 8%, algo nunca visto, ni si se comparase con los efectos de todas las crisis que han ocurrido desde la primera gran depresión económica en los años 30⁷. Luego de cada crisis desde ese entonces, la recuperación económica se ha traducido en grandes repuntes en las emisiones, el orden de magnitudes mucho mayores a las caídas experimentadas. En ese contexto, es imperante empezar a planificar sobre la base de una recuperación verde por lo que el desarrollo de la economía del hidrógeno se presenta como una alternativa para el país para evitar incrementos desmedidos de CO₂. No obstante, estas nuevas tecnologías deben ser probadas para demostrar su confiabilidad y viabilidad económica.

La planificación adquiere mayor importancia ya que, a causa de la novedad de esta tecnología, aún no existen modelos de negocio adecuados en el país, ni tarifas establecidas para el hidrógeno como tampoco para el servicio a ser ofrecido. Asimismo, como consecuencia de la novedad de esta tecnología también se encuentra limitada la capacidad técnica de los recursos humanos. Por otro lado, existen pocas localidades donde convergen el agua y la electricidad para la instalación de plantas de hidrógeno, teniendo en cuenta que el sistema de interconectado nacional, en ciertos lugares, no permite tener energía eléctrica permanentemente, a la potencia requerida para la planta, y, además, que este lugar cuente con agua tratada, de

7 Disponible en línea en

<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/global-energy-and-co2-emissions-in-2020>

fácil acceso; al lugar, al agua y a los insumos de dicha planta. Otro aspecto importante para que estas tecnologías puedan ser incorporadas efectivamente en el país es adaptar el marco legal y normativo en el Paraguay relacionado al hidrógeno, principalmente las normativas técnicas vinculadas a los distintos aspectos del hidrógeno, como la seguridad. Con la ayuda de una entidad articuladora en el sector energético, la posibilidad de creación de políticas que beneficien el proceso de adaptación a nuevas tecnologías como el Hidrógeno, se hará con mayor facilidad.

También existen amenazas que se pueden suscitar por la utilización de este elemento en la matriz energética. Entre estas se encuentra la visión proteccionista de distintos grupos de interés⁸ que busca mantener el mismo modelo de mercado; la errada concepción de la (in)seguridad del hidrógeno

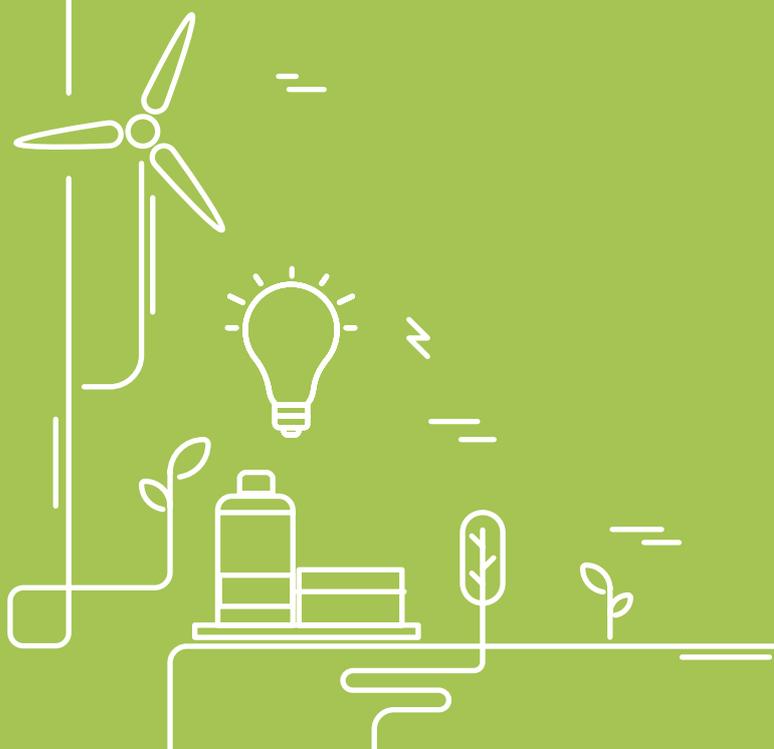
debido a la baja exposición de esta tecnología, a causa de su novedad. Sumado a esto, aún no existen incentivos para que el sector privado quiera invertir en Hidrógeno y los precios en país son inciertos debido a la falta de estudios implementados en el país motivo por el que es preciso avanzar un proyecto piloto que permita el posicionamiento y la preparación de Paraguay delante de los cambios mundiales en una transición energética.

Así, con todo lo expuesto se evidencia la existencia de una serie de desafíos por abordarse: las nuevas tecnologías son costosas y deben testearse para demostrar su viabilidad y confiabilidad para lograr su aceptación. Se requiere además construir un marco legal y regulatorio habilitante y generar capacidades institucionales y técnicas para escalar las nuevas tecnologías y el desarrollo de su infraestructura asociada.



⁸ Segmento del sector privado que se dedica a la venta de combustibles, motores de combustión, como por ejemplo APESA (Asociación de Propietarios y Operarios de Estaciones de Servicios y Afines).

03. Objetivos



03

OBJETIVOS

3.2

Objetivo General

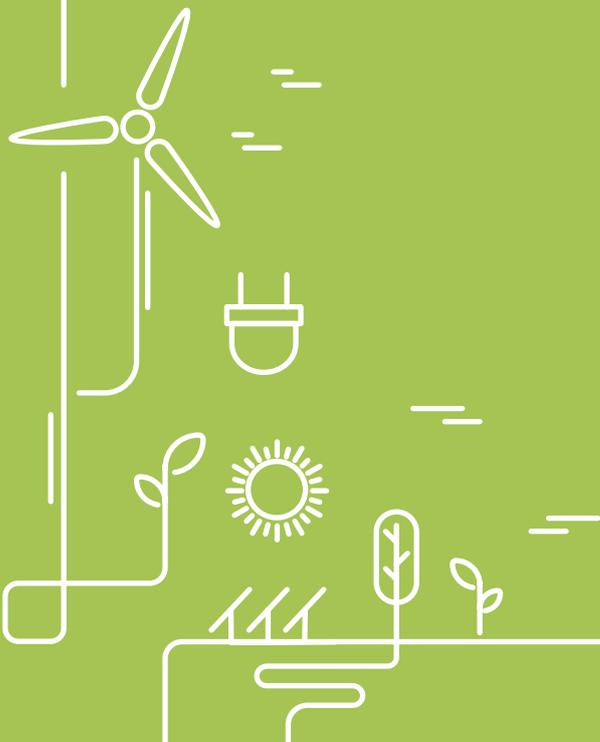
Contribuir al desarrollo e implementación de las tecnologías de hidrógeno verde en Paraguay como una alternativa innovadora hacia una transición energética y tecnológica que mejore la productividad del país con un enfoque de sostenibilidad.

3.2

Objetivos Específicos

- 1** Demostrar la viabilidad del uso de hidrógeno en el sector transporte para captar el interés de los tomadores de decisiones e inversionistas.
- 2** Formar profesionales con capacidades para proyectar, construir y operar hidrogeneras y plantas de producción de hidrógeno, fomentando la participación de hombre y mujeres (la diversidad de género).
- 3** Identificar mecanismos para el desarrollo del empleo local de insumos en la cadena de valor de tecnologías verdes para la descarbonización del sector transporte.
- 4** Ofrecer a la sociedad la posibilidad de familiarizarse con nuevas tecnologías limpias y promover la conciencia social colectiva respecto a programas verdes.
- 5** Mostrar la viabilidad de impulsar una diversificación de la oferta energética en Paraguay como un Hub de energía y promotor de programas de mitigación contra el cambio climático en la región a través del desarrollo de la economía del Hidrógeno.
- 6** Contribuir con el hidrógeno a las tecnologías de fuentes energéticas descarbonizadas que permitan atraer inversiones industriales sostenibles para fabricar productos “verdes”
- 7** Sentar las bases de una movilidad terrestre y fluvial verde interna en Paraguay definiendo las rutas y ejes del transporte para el desarrollo de una economía e industria de base sostenible.
- 8** Sentar las bases del papel y posicionamiento internacional de Paraguay como centro de las potenciales rutas verdes de transporte terrestre y fluvial, respectivamente, en el cono sur entre los océanos Pacífico y Atlántico y entre Chile, Argentina, Brasil y Uruguay.

04. Descripción general del proyecto



04.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Resulta evidente la necesidad de una sustitución energética hacia una mayor participación de electricidad renovable en el transporte. El hidrógeno (H₂) verde (a partir de energía renovable) es un vector energético (portador de energía) con una huella de Dióxido de Carbono (CO₂) nula que representa una oportunidad para la transición a energías limpias a corto, mediano y largo plazo, particularmente en el transporte de carga y pasajeros de larga distancia, tanto terrestre como fluvial (con perspectivas en desarrollo para el sector de aviación).

EL VALOR ENERGÉTICO DEL HIDRÓGENO SE DESTACA TAMBIÉN EN USOS INDUSTRIALES Y EN ALMACENAMIENTO PARA LA GESTIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA.

Se propone: promover, desarrollar e implementar el hidrógeno verde para mejorar la productividad y resiliencia del país con un enfoque de sostenibilidad e innovación, contribuyendo en la lucha contra el cambio climático y a un ambiente saludable.

El Proyecto complementará las acciones de Electromovilidad urbana que se vienen desarrollando en el país.

4.1

Línea de acción 1: promoción y desarrollo de la economía del hidrógeno verde en Paraguay⁹

El objetivo de esta Línea de Acción es establecer las bases sobre las cuales se desarrollará la economía del hidrógeno verde en Paraguay con vistas a corto, medio y

largo plazo. Buscando adaptar paulatinamente los medios e inversiones disponibles al desarrollo e implantación de la tecnología del hidrógeno dando opción a:

1. El conocimiento y aceptación social de la tecnología del hidrógeno.

2. La formación de cuadros técnicos especializados y preparados para los trabajos generados.

3. El desarrollo y modernización de las redes de transporte terrestre y fluvial del Paraguay. Dar lugar a una amplia red de usuarios de hidrógeno.

4. El posicionamiento de Paraguay en la lucha contra el cambio climático con la reducción de emisiones de CO₂ y gases contaminantes.

5. La mejora de la balanza de pagos al utilizar Paraguay sus propios recursos energéticos

A través de un Foro se dará apertura al proyecto para promocionarlo a nivel internacional. Por un lado, esta acción se llevará a cabo para mostrar las capacidades del país y la hoja de ruta que se pretende seguir para la incorporación de esta tecnología en los distintos sectores de la economía del país. Por otro lado, se buscará formar alianzas dirigidas al fortalecimiento del plan piloto demostrativo de la Línea de Acción 2.

Las alianzas permitirán asegurar el éxito del proyecto. A nivel nacional, se captará el interés de aliados del sector público y del sector privado. El sector público permitirá generar las condiciones habilitantes para

⁹ Esta Línea de Acción tendrá como referencia lo expuesto en el documento “Marco Conceptual: Hacia la Ruta del Hidrógeno Verde en Paraguay”

el proyecto e incluso ser el primer gran inversor. Sin la participación de este sector sería muy difícil capturar el interés del sector privado. Entonces el siguiente grupo de actores con el cual se formarán alianzas para el proyecto es el sector público. En una etapa inicial, las alianzas serán, principalmente, con empresas con capacidad para operar el sistema de transporte que está proyectado en el subcomponente 2. En el plano internacional, se deberá procurar la inclusión de empresas privadas con experiencia en tecnologías de hidrógeno verde, tanto en la producción como en la fabricación de tecnología que tenga actualidad en la oferta (producción y suministro de H₂) y la demanda (fabricantes de pilas y vehículos).

En los próximos años de vida del proyecto, este será construido sobre la base de una Estrategia Nacional, la cual se desarrollará de manera consultiva e inclusiva en el marco de esta Línea de Acción, con objetivos, actividades y metas medibles. La estrategia permitirá al gobierno tener una guía y un camino ordenado para consolidar la economía del hidrógeno. Esta será diseñada en consonancia con las estrategias nacionales como la Política Energética Nacional (PEN) 2040, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) Paraguay 2030, y la Agenda de Energía Sostenible 2019-2023, y permitirá apuntalar los objetivos de estos. También, servirá como un facilitador para la consecución de las metas fijadas a nivel país. Tendrá un enfoque multidimensional, que mínimamente incluirá aspectos de Políticas, Regulaciones, Normativas, Financiamiento, Oferta y Demanda e Infraestructura, entre otros.

EL POTENCIAL DEL PARAGUAY PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO ES EVIDENTE.

La abundancia de recursos energéticos renovables, en particular hídricos y la tarifa eléctrica competitiva son uno de los principales atractivos para la implantación de una cadena de producción competitiva. El aprovechamiento en conjunto de recursos energéticos renovables y tarifa eléctrica competitiva con la estratégica localización geográfica del país en corredores de logística terrestre y fluvial en el centro de Sudamérica pueden posicionar al país como un Hub de energía con base en renovables e hidrógeno.

Varios sectores podrán aprovechar las bondades de este vector energético. Uno de los principales es el sector transporte. Paraguay al ser un país mediterráneo tiene una alta dependencia del transporte terrestre en conjunto con la Hidrovía Paraguay-Paraná para la movilización de los bienes que produce. Actualmente este sector depende completamente de combustibles fósiles que son netamente importados, en este caso el hidrógeno posibilitará no solo la transición energética y tecnológica sino también, ayudará en la reducción de la vulnerabilidad macroeconómica producto de la dependencia del petróleo, y la descarbonización del sector transporte.

Otro sector que se puede beneficiar de una transición energética es el Industrial. Paraguay, es un gran consumidor de biomasa en forma de leña para la producción de calor, una práctica poco sustentable que imposibilita el aprovechamiento de la madera para la producción de bienes con mayor valor agregado. Las Industrias de Alta Temperatura podrían utilizar el hidrógeno como fuente de calor. No obstante, el uso del hidrógeno no se limitará a su propiedad de ser un portador de energía. También, es un recurso importante como materia prima para las industrias alimen-

tarias, química y farmacéutica, metalúrgica e incluso la producción de combustibles sintéticos, un mercado con cada vez mayor crecimiento.

ATENDIENDO A TODO LO ANTERIOR ES NOTABLE EL APORTE QUE PUEDE GENERAR EL HIDRÓGENO A TODA LA CADENA DE VALOR NACIONAL.

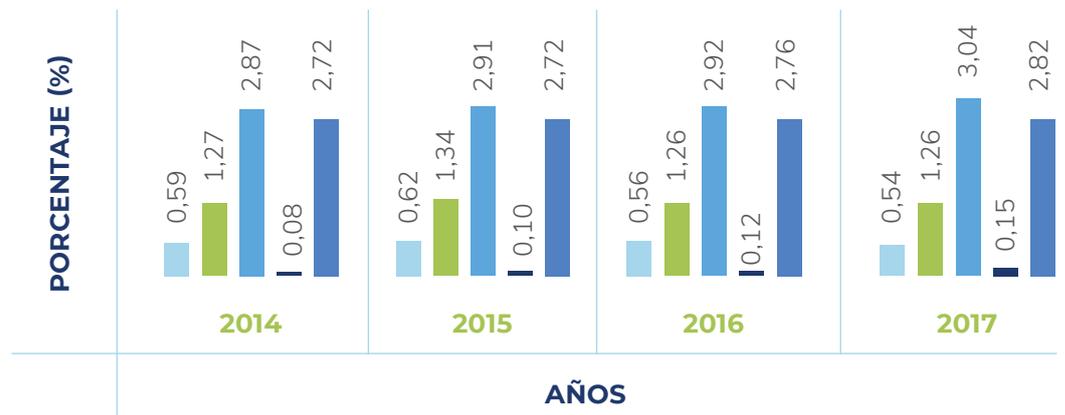
Sin dejar de mencionar que su producción permitirá mejorar la gestión de los sistemas eléctricos. No obstante, la economía del hidrógeno abre las puertas a una nueva oportunidad para el país, la innovación y el desarrollo de tecnología.

Hasta la actualidad, Paraguay y la región han sido principalmente tomadores o

usuarios de tecnología. Según informes del BID, en varios países latinoamericanos el número de nuevas empresas de base científico-tecnológica ha aumentado en los últimos años, pero existen aún brechas enormes con relación a regiones más avanzadas (Kantis y Angelelli 2020). Un indicador de este hecho es la poca inversión en Investigación y Desarrollo de los países de la región. Mientras que países como Alemania y Estados Unidos invierten cerca del 3% de su PIB en este tipo de actividades, los países de la región no superan los 1,5%, como se puede observar en el Gráfico 2, y en el caso del Paraguay, no se llega a alcanzar ni el 1%. Además, claramente, existe una directa relación entre el crecimiento económico y las inversiones en I+D+E, ya que esto permite la generación de empleos y nuevas capacidades para los países.

GRÁFICO 2. Argentina Brasil Alemania Paraguay Estados Unidos de América

GASTOS EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO COMO PROPORCIÓN DEL PIB



Fuente: <http://data.uis.unesco.org/#>

En ese sentido, el hidrógeno verde podría ser una oportunidad para que el Paraguay se convierta en un proveedor de tecnologías innovadoras¹⁰ y de insumos en la cadena de valor de la misma. Para esto sería necesario el diseño de una Estrategia de Promoción Industrial para la cadena de suministro de Tecnologías de Hidrógeno, con lo que se podría sentar las bases para el incentivo a la inversión, a través de la generación de mecanismos que favorezcan a las actividades de negocios.

¹⁰ Pilas de Hidrógeno, Compresores, Tanques de Almacenamiento, Dispositivos de Seguridad y Control, Montaje de Vehículos del FCEV, etc.

PARAGUAY ES CONSIDERADO COMO UN PAÍS DE GENTE JOVEN. CERCA DEL 70% DE LA POBLACIÓN ES JOVEN Y EL 60% ES MENOR DE 30 AÑOS.

De hecho, la edad media es de 26,5 años (Hannah Ritchie y Max Roser 2019). Asimismo, es una población bastante vulnerable en la dimensión laboral. Durante la pandemia se ha constatado que los jóvenes tenían mayores probabilidades de perder su trabajo durante el confinamiento en función al tipo de ocupaciones (BBC, 19 de mayo de 2020) que personas en otras franjas etarias. La economía del hidrógeno con todas sus bondades tiene un gran potencial para la generación de empleos, y aprovechando el bono demográfico del país, se podría ofrecer a los jóvenes puestos de trabajo seguros y una buena perspectiva a futuro. No obstante, en su mayoría, la población juvenil es una fuerza laboral no capacitada por lo que el entrenamiento es un aspecto fundamental para que puedan tomar ventaja de estas nuevas oportunidades. Además, el capital humano es importante para este paquete de proyectos que pretende promover el uso y la generación de tecnologías de hidrógeno.

Para acompañar los procesos se necesitarán acciones claras para la Generación de Capacidades y Formación de Recursos Humanos. Esto será una demostración importante para los inversores: el compromiso del gobierno con la promoción de la economía del hidrógeno. Se actualizarán Programas Curriculares con temas relacionados al hidrógeno, tanto en universidades como en institutos de formación de técnicos especializados, en las áreas de montaje y operación de plantas-estaciones, y las tecnologías asociadas como los vehículos del tipo FCEV, compresores, tanques, etc.

También, se deberá entrenar al personal de respuesta ante emergencias, como los bomberos, paramédicos, entre otros, ya que este tipo de tecnología se presenta con nuevos desafíos en temas de procedimientos y seguridad.

En línea con todo lo anterior, se necesitará un espacio que permita ayudar a promover y coordinar nuevas iniciativas. Entonces, se espera poder conformar un Centro de Excelencia con enfoque en el Hidrógeno y sus tecnologías. Esto otorgará al país un espacio consultivo de referencia que capture lo aprendido y desarrollado en cuanto al hidrógeno y su principal misión será la de construir capacidades en el país y posicionarlo en temas de I+D+E a nivel internacional, será una incubadora para los futuros proyectos nacionales. Estará integrada por representantes de la academia, industria, sector privado, sector público, organismos internacionales, sociedad civil, entre otros.

Finalmente, las acciones de este proyecto generarán una gran cantidad de conocimiento y resultados. Es por este motivo que se requerirá contar con un Estrategia de Comunicación y Difusión, para divulgar todos los logros y conocimientos que servirá de herramientas a los emprendedores y a los futuros inversionistas, y por último para demostrar los avances del Paraguay en temas de hidrógeno.

En general, esta Línea de Acción buscará generar lineamientos estratégicos, marcos de política, promoción y de regulación, y capacidades institucionales y técnicas para el desarrollo de la economía del H₂ verde como un instrumento de transición energética y de mitigación del cambio climático en sectores pendientes de la economía. Se plantea énfasis en el aprovechamiento de las condiciones geográficas y de recursos energéticos del país para fomentar el de-

sarrollo industrial de la cadena de valor con generación de empleo local. Las actividades para esta Línea de Acción se resumen y detallan en la Tabla 16 del Anexo.

4.2

Línea de acción 2: desarrollo de un plan piloto demostrativo de H₂ verde¹¹

Esta Línea de Acción tiene por objetivo desarrollar un proyecto piloto de producción y uso de H₂ verde para promover su uso mediante un plan progresivo de consumo.

El proyecto servirá para demostrar la viabilidad técnica del hidrógeno verde (producido mediante el uso de energía renovable, basada principalmente en los abundantes recursos hidroeléctricos de Paraguay, para utilizarlo como combustible en reemplazo del Diesel Oíl. Así se evitarán las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte, se mejorará la calidad del aire de las zonas con más densidad de movimiento rodado y se evitará la dependencia del país a la importación de combustible. Asimismo, el proyecto permitirá relevar datos e informaciones útiles para las evaluaciones socioeconómicas de escenarios de uso del hidrógeno en el país y podría contener un laboratorio de análisis de nuevas tecnologías del hidrógeno promoviendo la colaboración en investigación y desarrollo. Bajo esta colaboración se podrían estudiar las tecnologías del hidrógeno ya existentes para su uso no solo en movilidad terrestre, sino también en movilidad fluvial y usos industriales.

En general, esta Línea de Acción buscará instalar tres plantas piloto de producción de H₂ verde a partir de la electrólisis de agua con energía renovable para su utilización como energético y demostrar su via-

bilidad. Serán las primeras plantas que se instalarán gracias al proyecto para conectar las tres principales áreas comerciales (Villa Elisa – AMA¹², Ciudad del Este y Encarnación). La demanda mínima inicial de vehículos será provista en parte por el proyecto y las agencias de gobierno promotoras del mismo en su plan de renovación de flota. Con la expansión del Proyecto, la demanda crecerá con la participación de empresas privadas, de transporte público y de carga que se espera atraer con las actividades de promoción aludidas en la línea de acción 1. Para ello, se proponen dos subcomponentes que permitirán consolidar la oferta y demanda del H₂. Antes de explicar estos dos subcomponentes, se presenta un análisis de alternativas que permitió escoger de forma informada la configuración más adecuada en términos técnico-económico tanto en el suministro como en el consumo del hidrógeno. Esta línea de acción se define para el país como:

- Una primera toma de contacto con la tecnología.
- Una herramienta para generar conocimiento tanto técnico, como social de la tecnología.
- Apertura de un mercado para ver su verdadero potencial e interés.
- Generación de una red de usuarios que puedan justificar inversiones futuras.
- Posicionamiento internacional de Paraguay en la transición energética.

¹¹ Esta Línea de Acción tendrá como referencia los detalles y costos expuestos en el documento “Marco Conceptual: Hacia la Ruta del Hidrógeno Verde en Paraguay”

¹² El Área Metropolitana de Asunción (AMA) o Gran Asunción es el conglomerado urbano que la ciudad capital del Paraguay, Asunción, conforma junto con las ciudades de su periferia: Luque, Fernando de la Mora, San Lorenzo, Lambaré, Mariano Roque Alonso, Ñemby, Capiatá, Limpio, San Antonio, Villa Elisa.

4.2.1.

Análisis de alternativas

Es importante que la configuración del Proyecto sea la más adecuada no sólo en

Análisis de alternativas

Es importante que la configuración del Proyecto sea la más adecuada no sólo en términos técnicos sino también económico, por lo cual se encontró la necesidad de evaluar diferentes alternativas contrastando en materia de suministro las diferentes alternativas de capacidad instalada para la producción del H₂ verde en conjunto con los posibles consumidores.

4.2.1.1 Suministro

Las alternativas estudiadas en cuanto al suministro de H₂ verde son las que se detallan a continuación:

1. E30: Estación con capacidad de producción de 30kg/día con almacenamiento de 30 kg.
2. E30+: Estación con capacidad de producción de 30kg/día con almacenamiento de 45 kg.
3. E60: Estación con capacidad de producción de 60kg/día con almacenamiento de 60 kg.
4. E60+: Estación con capacidad de producción de 60kg/día con almacenamiento de 72 kg.
5. A60+: Estación con capacidad de producción de 60 kg/día con expansión de la capacidad totalizando 120 kg/día con almacenamiento de 120 kg.
6. E200: Estación con capacidad de producción de 200kg/día con almacenamiento de 200 kg.

TABLA 1.

CAPITAL DE INVERSIÓN DE ALTERNATIVAS Y COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Unidades en USD	E30	E30+	E60	E60+	A60	E200
Capital Inicial	1.316.520	1.372.473	1.383.527	1.420.672	1.791.556	1.969.189
O&M Anual	109.655	114.342	128.597	131.709	202.764	257.631
Costo de Hidrógeno (USD/kg)	5,0	5,2	5,9	6,0	4,6	3,5

Fuente: Elaboración propia de CRECE, IREC en asistencia al VMME, coordinado y financiado por el BID. La estructura de costos del capital inicial se presenta en la va tabla7 utilizando una E60 a modo de ejemplo.

Con el objetivo de maximizar el impacto y efecto demostrativo del Proyecto, la alternativa que mejor se ajusta a las necesidades y presupuesto es una Estación E200 en AMA, una Estación E60+ en Ciudad del Este (CDE) y otra E60+ en Encarnación (ENC).

La capacidad ampliada en AMA (200 kg/H₂ por día) permitirá evaluar el desempeño de

la tecnología en la Hidrovía Paraguay-Paraná y en otras pruebas que presenten mayores niveles de demanda.

Si bien la instalación de una E30 parecería más conveniente, la inversión es próxima a la de E60+. La ampliación de E60 supone una inversión de aprox. 30% del capital inicial (comparar con A60 de Tabla 1).

TABLA 2.
ALTERNATIVA SELECCIONADA

Cant.	Tipo	Ubicación	Montos (USD)
1	E200	Villa Elisa – AMA	1.969.189
1	E60+	Ciudad del Este	1.420.672
1	E60+	Encarnación	1.420.672
Sub Total			4.810.533
Contingencias (14,3%)			689.467
Total, plantas			5.500.000
3 sitio de emplazamiento de emplazamiento			600.000
TOTAL, Suministro			6.100.000

Nota: En la Tabla 21 se puede encontrar una propuesta de cronograma de actividades para el proceso de licitación y puesta en marcha de estas plantas piloto.

4.2.1.2 Demanda de H₂

Considerando la configuración del suministro de H₂, se determinó la cantidad mínima de consumidores a ser abastecidos tanto en el AMA como en CDE y ENC a los efectos del piloto. En ese sentido, con al menos 72 kg diarios en ambas ciudades se puede alimentar un bus con un tanque de 45 kg y autonomía de 400 km, y 2 o 3 vehículos con tanques de 6 kg y autonomía de 500 km dependiendo de la gestión de utiliza-

ción/recarga. La inversión prevista para la adquisición de los vehículos se detalla en la Tabla 3. Asimismo, se indica la máxima demanda diaria que podría presentarse por cada una estos vehículos. No se consideró la demanda de H₂ para navegación fluvial en la HPP, la cual se espera promover a partir de otros participantes que se sumen al piloto a partir de las actividades de promoción de inversión privada.

TABLA 3.
DIMENSIONAMIENTO DE DEMANDA CON BASE EN 72KG DE H₂ POR DÍA

Detalles	Villa Elisa – AMA		Ciudad del Este		Encarnación			
	Consumo (Kg)	Inversión (USD)	Consumo (Kg)	Inversión (USD)	Consumo (Kg)	Inversión (USD)		
1 Bus/ Camión	45	500.000	1 Bus/ Camión	45	500.000	1 Bus/ Camión	45	500.000
2 Vehículos	15	180.000	2 Vehículos	15	180.000	2 Vehículos	15	180.000
Fluvial	12	200.000						
TOTAL, DEMANDA							2.240.000	

Nota: En la Tabla 22 se puede encontrar una propuesta de cronograma de actividades para el proceso de licitación.

En función al factor de utilización de los vehículos y otros aspectos relacionados a la operación de estos, se tendrá la opción de adicionar otras unidades o derivar una parte de la producción de H₂ a otras aplicaciones, ya que probablemente la carga no será diaria atendiendo a la autonomía del orden de los 500 km que tienen estos vehículos. En complemento, se buscarán socios para experimentar el uso del H₂ en el transporte fluvial y así comprobar su funcionamiento en la hidrovía Paraguay-Paraná. Esta iniciativa se apoyará con asistencia técnica.

4.2.2. Subcomponente 1: suministro del H₂ verde

Apunta al desarrollo de un corredor de hidrógeno a través de la instalación de hidrogeneras que permita adaptar paulatinamente los medios e inversiones disponibles al desarrollo e implantación de la tecnología del hidrógeno.

Las obras para el suministro de H₂ tendrán lugar en zonas de ámbito urbano para luego llegar a tener la conectividad entre las tres principales áreas comerciales más importantes del país: Área Metropolitana de Asunción (AMA), Ciudad del Este (Dpto. Alto Paraná) y Encarnación (Dpto. Itapúa). De esta manera, se espera involucrar más aliados, y ampliar el alcance, ya que el proyecto es bastante ambicioso.

TABLA 4.
TRAMOS QUE PRETENDE CUBRIR EL PROYECTO

Tramo	Distancia	Duración	Número de recorridos por tipo de transporte		
			Autobús	Camión	Coche
AMA – CDE	321 km	5 h 10 min	1,1	1,2	2,3
CDE – ENC	291 km	4 h 45 min	1,2	1,3	2,5
AMA – ENC	357 km	5 h 46 min	0,9	1,1	2,1

El triángulo cubre un trayecto de aproximadamente 1.015 km, estimación realizada CON la herramienta de medición disponible en Google Maps. Según la plataforma, un redondo se completaría en 15hs 11 min. No obstante, el objetivo de los transportes involucrados en dicho proyecto es la conectividad entre los tres puntos de forma independiente, y no el circuito circular. Esta propuesta tiene tres hitos importantes como se detalla en la Tabla 5 y que se relaciona a la instalación de las plantas.

TABLA 5.
HITOS DEL PROYECTO EN LA LÍNEA DE ACCIÓN 2 ¹³

Hito 1	Hito 2	Hito 3
Piloto con una hidrogenera de mediano porte con capacidad para producir y almacenar 200 Kg de H ₂ /día y para alimentar una flota de vehículos y otros usos. Será implementada en la ciudad de Villa Elisa localizada en el AMA.	Piloto con una hidrogenera de pequeño porte con capacidad para producir 60 Kg de H ₂ /día y almacenamiento de 72kg, para alimentar una flota de vehículos. Será implementada en Ciudad del Este.	Piloto con una hidrogenera de pequeño porte con capacidad para producir 60 Kg de H ₂ /día y almacenamiento de 72kg, para alimentar una flota de vehículos. Será implementada en la ciudad de Encarnación.

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.1 Hito 1: Instalación de Hidrogenera en Villa Elisa - AMA

Este escenario incluye una hidrogenera modular con capacidad de 200 kg/día producción de H₂ para una flota de vehículos a hidrógeno. Se ha considerado una capaci-

dad de almacenamiento de 200 kg de H₂ al día. Es de resaltar, que el sistema de electrólisis se puede ajustar a cargas variables para controlar la producción diaria de H₂.

¹³ La instalación de las tres plantas podrá ser ejecutada al mismo tiempo o no, dependiendo de la estructura financiera del proyecto, la disponibilidad de fondos u otros requerimientos.

La ubicación de la hidrogenera en el distrito de Villa Elisa – AMA, resaltada en la imagen de abajo, sería muy conveniente para las aplicaciones de transporte fluvial. La cercanía a la hidrovía Paraná-Paraguay facilitaría impulsar proyectos piloto en entornos fluviales en base a tecnologías de pilas de combustible de hidrógeno. La planta podría estar ubicada en un espacio perteneciente a PETROPAR (Petróleos Paraguayos), ubicación conveniente con fácil acceso a vías fluviales (puertos) y vías terrestres (rutas). En relación con la planta de producción, es esencial tener la colaboración de la ANDE para temas de tarifa e instalaciones eléctricas necesarias.

GRÁFICO 3.
UBICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO EN VILLA ELISA



A la izquierda la Planta Industrial de PETROPAR en Villa Elisa, a la derecha las posibles ubicaciones para la planta de hidrógeno

Entonces, esta instalación incluirá la planta de producción y una hidrolinera con un sistema de almacenamiento para atender a una flota de vehículos de hidrógeno a modo de establecer las bases de permisos, cumplimiento de normativas y preparar su futura legislación.

La ubicación recomendada, por todas las características mencionadas en la Tabla 14 de Anexo es la Opción A. Este, un lugar abierto y alejado de otros puntos que pueden ser conflictivos y existe buen margen para gestionar las distancias de seguridad ante atmósferas explosivas. La entrada y salida a este sitio es sencilla y no requiere realizar maniobras, se encuentra muy cercano al Portón 1 y a la ruta principal. Existe disponible más de 3,000 m² por lo tanto la planta podrá crecer en el futuro.

Por último, se ha identificado que PETROPAR tiene una demanda de oxígeno para sus operaciones internas, que actualmen-

te lo adquieren de terceros. Esto abre las puertas para su aprovechamiento, ya que como subproducto de la electrólisis se produce oxígeno en una relación 2:1, es decir por cada 2 kg de H₂ se produce 1 kg de oxígeno. Para esto se requerirán realizar estudios de mercado a modo de aprovechar la oportunidad tanto a nivel nacional como internacional.

4.2.2.2 Hito 2 y 3: Instalación de Hidrogenera en Ciudad del Este y Encarnación

La instalación de las Hidrogenera en Ciudad del Este (posiblemente en zona de emplazamiento de la Central Hidroeléctrica Acaray, propiedad de ANDE) y en Encarnación (ubicación específica en proceso de definición) incluye en ambos casos un electrolizador con capacidad de producción de 60kg de H₂ por día, con una capacidad de almacenamiento de 72 kg. El logro de estos hitos permitirá cerrar el triángulo propuesto.

4.2.3. **SUBCOMPONENTE 2: Utilización del H₂ verde**

Este subcomponente del proyecto tiene el objetivo de promover el uso del hidrógeno en el sector transporte, haciendo uso del H₂ producido en las plantas pilotos. Además, con esto se pretende consolidar la demanda de hidrógeno.

EL HIDRÓGENO SERÁ UTILIZADO PARA DEMOSTRAR SU VIALIDAD EN APLICACIONES DE TRANSPORTE.

Cubrirá la demanda de una pequeña flota compuesta por: buses de pasajeros interurbanos, camiones de carga y/o recolectores de residuos sólidos urbanos (RSU), vehículos ligeros del tipo sedán y utilitarios tipo minivans. Más adelante, se buscará expandir su uso en más aplicaciones de transporte de larga distancia tanto terrestre como fluvial.

Para la Línea de Acción 2, se buscarán aliados del sector privado que puedan adquirir y operar estos transportes en el caso de los buses de pasajeros.

En cuanto a la operación del sistema de recolección de RSU, un aliado clave sería la participación de alguna de las municipalidades dentro de las áreas de influencia de las estaciones hidrogeneras planteadas.

Por otro lado, la operación y adquisición de los vehículos ligeros podría ser de interés de las instituciones involucradas para su uso en actividades oficiales. Con esto se aseguraría la demanda mínima requerida de hidrógeno que estaría siendo cubierto por las plantas piloto.

En la siguiente sección se describen brevemente los lineamientos preliminares de un programa de incentivos a la participación de buses interurbanos y camiones a hidrógeno. El sistema de transporte de pasajeros operará en una zona que deberá ser determinada por los responsables y las autoridades competentes como el VMT. En cuanto a los camiones de carga o recolectores de RSU, su operación estaría sujeta al área de influencia de la Municipalidad involucrada en el proyecto como aliada. En ese sentido, para el proceso de concesión de buses, se propone fortalecer la alianza con el sector privado.

4.2.3.1 Programa de incentivos a la participación de Buses Interurbanos y Camiones a Hidrógeno Verde

4.2.3.1.1 Objetivo del Programa

Incorporar buses y camiones con tecnología de celdas de hidrógeno como parte del proyecto “Hacia la Ruta del Hidrógeno Verde en Paraguay”.

4.2.3.1.2 Objetivos Específicos del Programa

1. Fomentar la participación competitiva del sector privado en los inicios del proyecto piloto buscando fortalecer alianzas.
2. Evaluar modelos de negocios para la futura operación de este tipo de autobuses y camiones de carga a gran escala.
3. Hacer un uso eficiente y estratégico de los recursos.
4. Transparentar el proceso de concesión y garantizar las mismas oportunidades para todas las empresas interesadas en operar los buses en el contexto del proyecto cumpliendo con los requisitos establecidos por la autoridad competente (VMT y DINATRAN).

4.2.3.1.3 Esquema del Programa

4.2.3.1.3.1 Buses Interurbanos y camiones de carga¹⁴

a. En el marco del proyecto de innovación, se organizará un concurso para seleccionar tres empresas de transporte interurbano de pasajeros¹⁵ o camiones de carga que será la adjudicadas para operar y mantener los buses y/o cambiones a hidrógeno que serán adquiridos en el marco del proyecto. Se hará un concurso por lado del triángulo de hidrógeno verde (es decir, ASU-CDE, CDE-ENC, ASU-ENC).

b. Cualquier empresa de transporte con reconocida trayectoria en el rubro (mínimo 10 años de operación) y con las cuentas al día podrá presentarse para concursar. Así garantizar que la empresa cuente con: el personal, los recursos y las capacidades necesarias que garanticen un servicio de calidad.

c. Los criterios de selección serán definidos por el equipo de proyecto y el proyecto establecerá un incentivo de apoyo a la adquisición del bus o camión en un rango de 30-70% (a definir) y bajo la obligación de que la empresa realizará un aporte de contrapartida del saldo de costo remanente.

d. Las empresas galardonadas deberán encargarse de mantener y operar los buses, y el proyecto dará la garantía suficiente para ofrecer un suministro seguro de Hidrógeno. Sólo en casos excepcionales se podrá utilizar Hidrógeno no proveído por la organización del proyecto.

4.2.3.1.3.2 Camión Recolector de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Se buscará la participación competitiva de algún municipio en zona aledaña de alguna de las tres hidrogeneras que desee participar en un testeo de un camión recolector

de residuos sólidos urbanos a hidrógeno.

4.2.4. Fase subsiguiente

En la configuración propuesta en la Tabla 1, el proyecto ocupará el 63% del suministro de H₂. Completar el uso del total del suministro implicaría incrementar la demanda lo que podría realizarse luego de implementadas las subcomponentes 1 y 2, ya sea en pruebas asociadas a la gestión de sistemas eléctricos en vehículos u otras aplicaciones.

Se espera que la demanda y el suministro adicional de hidrógeno verde crezca a partir de otros participantes que se sumen al piloto a partir de las actividades de promoción de inversión privada.

Pero inicialmente se busca consolidar la infraestructura, con posibilidad de crecimiento según la demanda, y, la formación de una red de usuarios públicos y privados, con un acompañamiento en la elaboración de normativas y regulaciones.

Asimismo, se debe tener la posibilidad de crecer en la flota fluvial, así como en la flota de automóviles siempre que se instalen más sistemas presurizados a 700 bares y en aplicaciones industriales.

Para incentivar esta consolidación es preciso llevar a cabo una labor ingente con las autoridades, los responsables de la administración pública y con los sectores patronales del transporte y de la industria.

Por consiguiente, los principales colaboradores son PETROPAR, ANDE, empresas privadas del sector de transporte de pasajeros o de mercancías, así como el propio VMME como ente planificador-articulador en conjunto con el MADES en lo que concierne a la dimensión ambiental.

¹⁴ Premiar la igualdad de oportunidades en el empleo de conductores, aceptando toda la diversidad. Al menos una de las empresas deberá contar con mujeres, o indígenas como parte de su equipo.

¹⁵ Existen más de 100 empresas interurbanas identificadas como operativas en Paraguay. Información disponible en: http://www.dinatran.gov.py/docum/Anuario_2018.pdf.

05.

Beneficios y Beneficiarios



05.

BENEFICIOS Y BENEFICIARIOS

Como beneficios de la economía del hidrógeno verde se logrará mejorar la resiliencia del país (balanza de pagos) utilizando recursos energéticos propios al desplazar combustibles fósiles importados. El piloto permitirá atraer inversiones al país y fomentar el desarrollo industrial local de la cadena de valor de insumos de esta tecnología, generando nuevos mercados ambientalmente sostenibles y socialmente aceptados que redunden en oportunidades de generación de empleo y desarrollo socioeconómico como parte integral de la estrategia de reactivación económica del país. El programa complementará las acciones de Electromovilidad urbana y completará la descarbonización del sector transporte.

EL DESARROLLO DE LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO VERDE CONLLEVA BENEFICIOS EN VARIOS SENTIDOS, TANTO EN SU PROCESO INDUSTRIAL COMO EN SU USO Y EN LA GENERACIÓN DE CAPACIDADES.

El proceso de creación tecnologías necesarias (electrolizadores, vehículos, infraestructura, etc.) y el aumento de los servicios energéticos permitirá generar más empleos de calidad y a su vez potenciar las industrias nacionales con encadenamientos productivos regionales enfocados en la innovación. Paraguay es un perfecto laboratorio para testear nuevos emprendimientos con perspectivas a la regionalización¹⁶, por lo que, en un sentido amplio, a los beneficiarios del proyecto se le suma la comunidad regional, con implicancias directas en los sectores de la economía difíciles de electrificar que utilizan combustibles fósiles de forma directa o indirecta para medios de transporte y fines industriales.

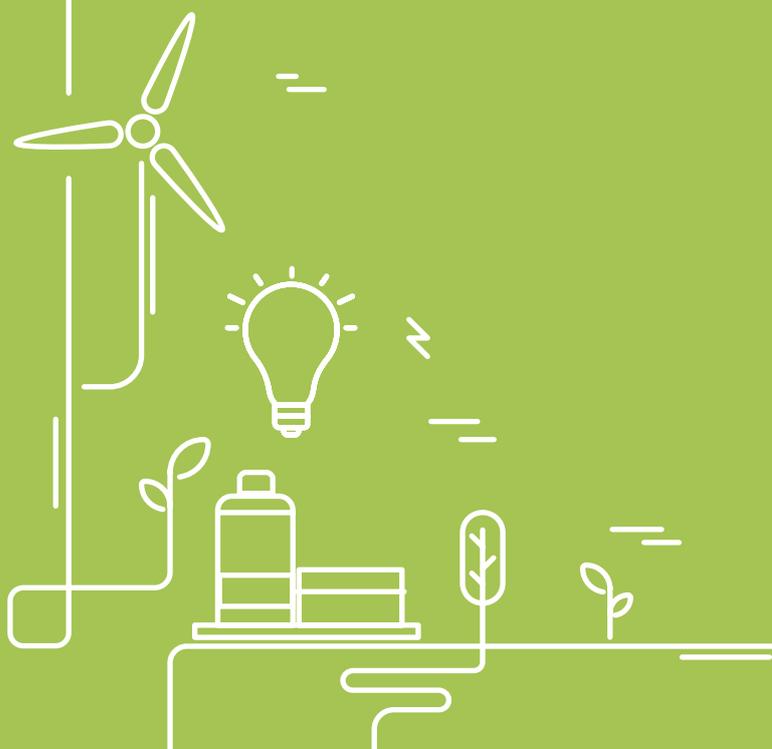
En los 10 años de vida de las tres plantas piloto se empleará mano de obra directa e indirecta, se evitará la emisión de CO₂ en el orden de 21.170 toneladas suponiendo un consumo al equivalente de 7.358.400 litros de gasolina que serán reemplazados por los 1.168.000 kg de H₂ producido a lo largo del período (ver cálculos y supuesto en Tabla 23).

Además, el consumo de energía eléctrica de 6,57 GWh/año significará una recaudación anual en el orden de los 172 mil USD para la ANDE (considerando la operación de las tres plantas). Calculando el costo de trasladarse un trayecto de 100 km en un vehículo ligero a hidrógeno en contraste con uno a gasolina encontramos que cuesta 1,1 USD y 5,0 USD respectivamente (sin impuestos), lo que da una diferencia de 3,9 USD en favor del automóvil a hidrógeno para amortización y beneficios (ver cálculos y supuesto en Tabla 23). En adición a lo mencionado, hay un beneficio extra para el planeta y para la salud de la humanidad que es no emisión de CO₂.

El piloto es una oportunidad directa para la ANDE y para PETROPAR de posibilitar la evaluación de una nueva tecnología con miras al incremento de la seguridad energética del país. En cuanto a la generación de capacidades, cómo mínimo se espera formar a 3 representantes de las diferentes carteras ministeriales e instituciones involucradas en el proyecto (más de 60 personas) entre directores, técnicos y formadores. Finalmente, se espera desarrollar las condiciones que permitan la activación del mercado del hidrógeno orientado a favorecer a las inversiones del sector privado, esto implicará Investigación y Desarrollo (I+D) tanto a nivel técnico como jurídico.

¹⁶ Inversión de impacto en Paraguay 2020, PNUD (<https://www.py.undp.org/content/paraguay/es/home/library/inversion-de-impacto-en-paraguay.html>)

06. Guía para implementación



06.

GUÍA PARA IMPLEMENTACIÓN

6.1

Matriz de actores

Los actores institucionales relevantes para el desarrollo e implementación del Proyecto Piloto son los que se definen a continuación:

- MOPC - Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones: Entidad gubernamental encargada de elaborar, proponer y ejecutar las políticas y disposiciones del Poder Ejecutivo referentes a la infraestructura y servicios básicos para la integración y el desarrollo económico del país.
- ANDE - Administración Nacional de Electricidad: es una empresa pública que atiende las necesidades de energía eléctrica del país, para contribuir al desarrollo del Paraguay y al bienestar de su población.
- PTI - Parque Tecnológico Itaipú: es una Fundación constituida por profesionales que buscan contribuir al desarrollo de la cultura de la innovación.
- MIC - Ministerio de Industria y Comercio: Entidad gubernamental encargada de Promover políticas públicas que apunten al desarrollo sostenible del sector empresarial, a través del incremento de su competitividad.
- VMME - Viceministerio de Minas y Energías: repartición del MOPC responsable por proponer y ejecutar políticas para el desarrollo del sector energético del Paraguay
- VMT - Viceministerio de Transporte: repartición gubernamental normativa del sector transporte del Paraguay. Depende del MOPC.
- MADES – Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible: repartición gubernamental que busca un ambiente sano, respetando los recursos naturales, conservando la biodiversidad y aprovechándolos de manera sustentable para el desarrollo nacional.
- VMC - Viceministerio de Comercio: repartición gubernamental que busca promover, reglar, proteger y fomentar la actividad industrial y el comercio de bienes y servicios en el territorio nacional, y la inserción de los mismos en el mercado internacional. Depende del MIC.
- DINATRAN - Dirección Nacional de Transporte: repartición gubernamental responsable por la regulación de los servicios de transportes de pasajeros y cargas nacional e internacional.
- ANTSV - Agencia Nacional de Tránsito y Seguridad Vial: busca contribuir a la preservación del orden y la seguridad en el tránsito terrestre.
- Empresas privadas de transporte: Actualmente existen en el país empresas privadas de transporte enfocadas en la transición a medios de movilidad sostenibles. Existe una con buses eléctricos y dos comercializadoras de vehículos eléctricos (Toyotoshi, TIMBO, Grupo Lince y otros).
- INTN - Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología: entidad encargada de apoyar la mejora de la calidad, la productividad y la certificación de conformidad de los productos nacionales, con las normas técnicas, de manera a fortalecer el desarrollo económico y social del país mediante sus organismos técnicos
- Otros: Gremios Industriales y Academia.



6.2

Responsabilidades y gestión del proyecto

El Proyecto será liderado por el Viceministerio de Minas y Energía en un Steering Committee (ST) que incluye en primera instancia al Ministerio de Industria y Comercio, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Viceministerio de Transporte, PETROPAR y ANDE, con funciones de toma de decisiones, evaluación, monitoreo y supervisión.

Las principales funciones de este organismo serán de tomador de decisiones, evaluación, monitoreo y supervisión. La ejecución de recursos externos será encomendada a una institución idónea que se reportará al ST.

Para la designación de la Agencia Ejecutora (AE) de los fondos para el financiamiento de las actividades planteadas, se considera una organización no gubernamental sin fines de lucro que posea vasta experiencia en la ejecución de proyectos de desarrollo. Además, deberán contar un plantel de profesionales e investigadores con trayectoria y experiencia en temas de energía, transporte y específicamente de hidrógeno. La naturaleza jurídica de este organismo permitirá que los procesos de la gestión de fondos sean ágiles, transparentes y que supervisados según los procedimientos aceptados de auditoría.

6.2.1.

Propuesta de agencia ejecutora

La agencia ejecutora de los recursos externos de cooperación y asistencia técnica será la Fundación Parque Tecnológico ITAL-PU (F-PTI), de administración paraguaya y responderá al ST.

El Parque Tecnológico Itaipú Paraguay es una fundación creada en el 2003 que se desprende de la margen paraguaya de Itaipú Binacional.

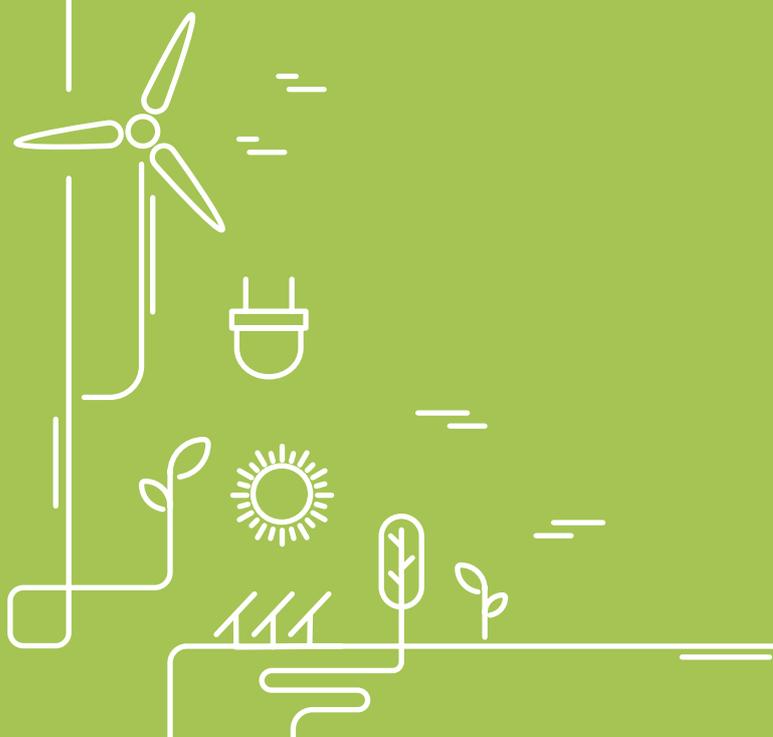
SU MISIÓN ES CONTRIBUIR AL DESARROLLO, CONFORME A LOS DELINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS NACIONALES, Y ESTÁ CONSTITUIDA POR UN PLANTEL DE PROFESIONALES MULTIDISCIPLINARIOS Y ALTAMENTE ESPECIALIZADOS.

Dentro de sus áreas de innovación en cuanto al desarrollo de tecnologías energéticas tienen 5 líneas de acción una de las cuales es específica para las Tecnologías del Hidrógeno, orientado al aprovechamiento y almacenamiento de fuentes de energías renovables.

La F-PTI (o simplemente PTI) recibe donaciones y aportes directos de la Entidad Itaipú Binacional, por lo cual existe la posibilidad que realicen aportes de contrapartida al proyecto. Además, desde su creación ha ejecutado con éxito varios proyectos encomendados por el gobierno y varios organismos internacionales. Tienen una participación destacada en temas referentes a tecnología y desarrollo, con buen relacionamiento con varias instituciones tanto públicas como privadas. Su trayectoria, le ha dado gran capacidad de convocatoria y coordinación con varios aliados para llevar a cabo el proyecto. Además, considerando el interés del PTI en adoptar el rol de Agencia Ejecutora bajo la supervisión del Comité de Seguimiento y la coordinación del Viceministerio de Minas y Energía.

07.

Presupuesto General



07.

PRESUPUESTO GENERAL

El proyecto requiere de una inversión total de recursos de 10 M USD como se muestra en la Tabla 6. Este presupuesto es considerado indicativo para la presentación del proyecto a posibles fuentes de financiamiento. Por otro lado, se buscará ampliar el ST para la participación de otras instituciones en la ejecución del Proyecto, incluyendo la Dirección Nacional de Transporte (regulador), la Agencia Nacional de Tránsito y Seguridad Vial, el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y

Metrología, gremios Industriales y la Academia. Incluso, se buscará atraer socios del sector privado en la expansión del mismo.

En la sección de Anexos se puede encontrar el presupuesto detallado para las componentes 1 (Tabla 19 que hace referencia a las actividades citadas en la Tabla 16), la Línea de Acción 2 (Tabla 20) y la administración del proyecto (Tabla 15). Finalmente, una exitosa ejecución del proyecto conllevará a los resultados descritos en la Tabla 17.

TABLA 6. Categoría/Actividad

PRESUPUESTO GENERAL

Categoría/Actividad	Total (USD)
Línea de Acción 1 - Promoción y Desarrollo de la Economía del Hidrógeno Verde en Paraguay	1.000.000
Línea de Acción 2 - Desarrollo de un Plan Piloto Demostrativo de H ₂ Verde	8.600.000
Administración	500.000
TOTAL, EN USD	10.000.000

TABLA 7. Fuente 1

FUENTES DE FINANCIAMIENTO GENÉRICAS [USD]

CAPEX	2.000.000
Asistencia Técnica	1.000.000
Fuente 2	6.000.000
Contrapartida Local	2.000.000
Administración (F-PTI)	500.000
Vehículos (agencias de gobierno)	740.000
Gestión Demanda Eléctrica (ANDE)	160.000
Sitios de 3 plantas	600.000
TOTAL, EN USD	10.000.000

Refleja las potenciales fuentes de financiamiento propuestas:

En cuanto a la Línea de Acción 2 se debe destacar que para determinar la configuración óptima con referencia la capacidad de producción de las hidrogeneras se evaluaron una serie de alternativas en términos técnicos y económicos tanto para el suministro como para la demanda, esto permiti-

tió seleccionar la configuración más viable (ver apartado 4.2.1). El H₂ puede ser una herramienta eficaz para almacenamiento de energía y gestión de la demanda eléctrica. ANDE expresó interés en comprobar dicha aplicación y se prevé un aporte de contrapartida para tal caso.

08.

Anexos



08.

ANEXOS

TABLA 8.
COSTO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ELECTRÓLISIS

CAPEX 2019¹⁷ **Tecnología de electrólisis del agua**

USD/kW	Alcalina	PEM	SOEC
Mín.	500	1.100	2.800
Max.	1.400	1.800	5.600
Promedio del rango	950	1.450	4.200

Fuente: (IEA 2019; Deutsch y Andreas 2019)

TABLA 9.
CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTROLIZADORES COMERCIALMENTE DISPONIBLES CONSIDERADOS

Modelo	A30	A90
Capacidad producción kg/h	2,70	8,10
Capacidad producción Nm3/h	30	90
Potencia nominal (kW)	250	430
Consumo agua (l/Nm3 H ₂)	0,90	0,90
Consumo eléctrico (kWh/kg H ₂)	51,44	53,70
Presión salida (bar)	35	35
CAPEX(USD) ¹⁸	142.500	427.500

*Incluye: Container; sistema de tratamiento de agua; conexión a tomas de agua y electricidad; y 2 años de servicio y mantenimiento

17 Las previsiones europeas en sus nuevos programas prevén y prometen ya una disminución de estos valores en un 10% para electrolizadores alcalinos e incluso más un mayor porcentaje en las otras tecnologías debido al auge de productividad del sector, así como en los avances de la tecnología.

18 Calculado con base en el máximo para los electrolizadores alcalinos dado en la Tabla 7

TABLA 10.
EQUIPOS PARA
UNA ESTACIÓN
DE RECARGA
DE HIDRÓGENO
CONVENCIONAL,
Y COSTOS
ESTIMADOS

Descripción	Cantidad	Costo ¹⁹	Sub-Total
Tanques [13 kg cada uno, 945 bar MAWP, Tipo II]	3	48.444	145.332
Transductor de presión e indicador	6	1.211	7.268
Válvula de bloqueo y purga	6	605	3.631
Válvula neumática	6	2.423	14.535
Electroválvula piloto	7	61	424
Válvula manual de aislamiento	12	605	7.261
Válvula de retención	3	484	1.452
Bomba de refrigerante	1	1.453	1.453
Enfriador de agua	2	4.844	9.688
Filtro de refrigerante	1	61	61
Compresor de aire de instrumentos	1	1.211	1.211
Secador de aire para instrumentos y filtro	1	3.088	3.088
Compresor de hidrógeno [2 etapas, salida de 950 bar]		0	
Estación de 100 kg / día - 6 kg / h, 25 kW		201.520	
Estación de 200 kg / día - 14 kg / h, 60 kW	1	349.026	349.026
Estación de 300 kg / día - 23 kg / h, 100 kW		480.915	
Dispensador de hidrógeno [manguera de (1) 350 bar y (1) 700 bar]	1	265.400	265.400
Unidad de pre/enfriamiento de H ₂	1	159.240	159.240
Detector de llama IR	2	1.816	3.633
Filtro de hidrogeno	1	3.028	3.028
PLC	1	6.055	6.055
Tuberías y Conexiones	-	42.389	42.389
Instalaciones eléctricas	-	60.555	60.555
Cercado y Postes	-	12.110	12.110
Total (Estación 100kg/día)			949.335
Total (Estación 200kg/día)			1.096.841
Total (Estación 300kg/día)			1.228.730

Fuente: (Hecht y Pratt 2017)

19 Costos ajustados de 2017 a 2020 con base en https://www.bls.gov/data/inflation_calculator.htm

TABLA 11.

CÁLCULO DEL CAPEX PARA ESTACIONES DE HIDRÓGENO CON PRODUCCIÓN IN SITU

Descripción	Con Estación Convencional						Con Estación Modular						
	Inversión		Instalación		Sub Total		Inversión		Instalación		Sub Total		
Villa Elisa - PETROPAR 200 kg/día													
Electrolizador Alcalino 200 kgH ₂ /d	427.500	USD	65.000	USD	492.500	USD	427.500	USD	65.000	USD	492.500	USD	
Tratamiento de Agua 250 lH ₂ O/h	8.290	USD	1.243	USD	9.533	USD	8.290	USD	1.243	USD	9.533	USD	
Almacenamiento a 450 bar	268.000	USD	26.800	USD	294.800	USD	268.000	USD	26.800	USD	294.800	USD	
Estación de Hidrógeno	949.335	USD	113.920	USD	1.063.255	USD	949.335	USD	47.467	USD	996.801	USD	
Sub Total					1.860.088	USD					1.793.635	USD	
Flete e Importación					50.000	USD					50.000	USD	
Planificación (5%)					55.803	USD					89.682	USD	
Contingencia (2%)					37.202	USD					35.873	USD	
Total					2.003.092	USD					1.969.189	USD	
Ciudad del Este - Acaray 60 kg/día (almacenamiento de 72kg)													
Electrolizador Alcalino 60 kgH ₂ /d	142.500	USD	65.000	USD	207.500	USD	142.500	USD	65.000	USD	207.500	USD	
Tratamiento de Agua 70 lH ₂ O/h	3.318	USD	498	USD	3.816	USD	3.318	USD	498	USD	3.816	USD	
Almacenamiento a 450 bar	88.440	USD	8.844	USD	97.284	USD	88.440	USD	8.844	USD	97.284	USD	
Estación de Hidrógeno	949.335	USD	113.920	USD	1.063.255	USD	949.335	USD	47.467	USD	996.801	USD	
Sub Total					1.371.855	USD					1.305.402	USD	
Flete e Importación					50.000	USD					50.000	USD	
Planificación (3%)					41.156	USD					39.162	USD	
Contingencia (2%)					27.437	USD					26.108	USD	
Total					1.490.448	USD					1.420.672	USD	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 12.

CÁLCULO DEL OPEX PARA ESTACIONES DE HIDRÓGENO CON PRODUCCIÓN IN SITU

	Abreviación	Fórmula			Unidad
Principales Supuestos					
Potencia Reservada			41.126		Gs/kW
Energía en Punta			331.93		Gs/kWh
Energía Fuera de Punta	S		144.83		Gs/kWh
Tarifa de Agua	wk		3.324		Gs/m3
Tasa de Interés	I		3%		-
Periodo de Depreciación	T		15		años
Factor de Anualidad	A	$i*(1+i)**T / ((1+i)**T)-1$	8,3767%		-
Consumo de Agua	W		1		L/Nm3H ₂
Horas de Trabajo Anual	V		8.760		h/a
Tasa de Cambio	Xr		6.900		Gs/USD
Datos Básicos	Abreviación	Fórmula	E60+	E200	Unidades
Potencia Reservada Mensual			150	450	kW
Potencia Requerida por el Electrolizador	P	5kWh*m3 de H ₂ [por hora]	150	450	kW
Consumo de Electricidad Anual	M	v*P	1.314.000	3.942.000	kWh/a
Consumo de Electricidad en Horario de Punta Anual	Pke	v*P*(4/24)	219.000	657.000	kWh/a
Consumo de Electricidad en Horario Fuera de Punta Anual	OPke	v*P*(20/24)	1.095.000	3.285.000	kWh/a
Cantidad de Agua Anual	Wm	w*EH ₂ [Nm ₃]/1000	282	846	m3/a
Eficiencia del Electrolizador	N			0,74	-
Cantidad de energía secundaria H ₂ - Anual	EH ₂ [Nm ₃]	m*n/3.45	281.843	845.530	Nm3/a
Contenido de energía secundaria H ₂ - Anual	EH ₂ [KWh]	m*n	972.360	2.917.080	kWh/a
Capital Semilla (Donación)	cs	P/ Estación Convencional	500.000	940.893	USD
		P/ Estación Modular	500.000	964.256	
CAPEX	L	Con Estación Convencional	1.490.448	2.003.092	USD
		Con Estación Modular	1.420.672	1.969.189	
Costos Anuales	Abreviación	Fórmula	E60+	E200	Unidades
Costo de Capacidad	AN = (I-cs)*a	Con Estación Convencional	82.966	88.977	USD/a
		Con Estación Modular	77.122	84.180	
Costo de Energía Eléctrica	S	s*m	34.413	103.239	USD/a
Costos de RRHH	RH		14.600	14.600	USD/a
Costo de Agua	WK	wk*wm	136	407	USD/a
Costo para Servicio y Mantenimiento	W	EH ₂ [Nm ³] * 0,009648 USD	2.719	8.158	USD/a
Costos Misceláneos (equipo, otros)	SK	EH ₂ [Nm ³] * 0,009648 USD	2.719	8.158	USD/a
Costo Total de Operación	BK	S+ RH + WK + W + SK	54.587	134.562	USD/a
Costo Total Anual	K = AN + BK	Con Estación Convencional	137.554	223.539	USD/a
		Con Estación Modular	131.709	218.742	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 13.

COORDENADAS DE ALTERNATIVAS PARA LA UBICACIÓN DE LA PLANTA EN VILLA ELISA

Alternativa	Coordenadas	
A	25°23'04.7"S	57°36'21.1"W
B	25°23'19.3"S	57°36'18.2"W
C	25°23'26.4"S	57°36'27.7"W

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 14.

CARACTERÍSTICAS DE LAS TRES UBICACIONES PARA LA PLANTA EN VILLA ELISA

Descripción	A	B	C
Suministro de Electricidad	Línea de MT y BT cercanos	Línea de MT cercana	Línea de MT cercana
Suministro de Agua	Tubería con agua de río a menos de 5 metros y conexión agua de pozo cercana	Disponibilidad de conexión a tubería con agua de río	Disponibilidad de conexión a tubería con agua de río
Terreno	Acceso por ruta asfaltada. Superficie ligeramente irregular a unos metros bajo el nivel de la ruta principal. Disponibilidad a ambos lados de la ruta. A pocos metros de la entrada principal	Acceso principal por ruta asfaltada. Superficie regular, luego camino de tierra. Medianamente cerca de la entrada principal	Acceso por ruta asfaltada, a pocos metros del río. Superficie regular. Muy retirada de la entrada principal
Estado de Uso	Libre, sin proyección de uso a largo plazo	Libre, eventualmente como depósito	Ocupado por obras, cierto periodo
Nivel de Tránsito	Leve	Muy alto	Alto
Comentarios del Guía	Lugar recomendado, no existe proyección de uso para los próximos 10 años, protegido contra el ingreso de terceros	Lugar muy cercano a la planta principal, puede haber necesidad de uso en el futuro, es muy transitado.	Pueden haber repetidas restricciones de tránsito, en este sitio se realiza el despacho de combustibles, continua presencia de externos

Fuente: Elaboración con propia con base en la visita técnica realizada al predio de PETROPAR

GRÁFICO 4.
ALTERNATIVA A



TABLA 15.
PRESUPUESTO
DETALLADO
PARA LA
ADMINISTRACIÓN
DEL PROYECTO

Administración	Costo Unitario	Meses	Total (USD)
Director de proyecto	3.000	36	108.000
Apoyo administrativo financiero y adquisiciones	2.000	36	72.000
Asistente de proyecto	1.500	36	54.000
Costos logística y oficina	1.000	36	36.000
Auditoria del Proyecto	2.000	36	72.000
Otras Necesidades de Recursos Humanos	158.000	-	158.000
Administración			500.000

TABLA 16.

**DESCRIPCIÓN
DE ACTIVIDADES
PARA LA LÍNEA
DE ACCIÓN 1**

Actividad	
Actividad 1	Foro internacional de Hidrógeno, promoción y búsqueda de alianzas p/ la Línea de Acción 2
Actividad 2	Estudio que demuestre la viabilidad de la economía del hidrógeno verde en Paraguay, incluyendo diferentes modelos de negocio para su producción y comercialización (nacional y de exportación), incluyendo compuestos y productos asociados (por ejemplo, NH ₃ , metanol, oxígeno) y considerando la participación pública y privada.
Actividad 3	Análisis detallado de la cadena de valor del hidrógeno verde en el país y oportunidades para desarrollar insumos localmente en la cadena de valor. El estudio incluirá perspectivas económico-financieras, institucionales, de capacidad local, legales / regulatorias, técnicas, fiscales, ambientales y sociales, y un análisis de brechas y recomendaciones de políticas.
Actividad 4	Estudio de la logística terrestre y fluvial donde el hidrógeno verde podría ser una oportunidad considerando la posición del país en términos del corredor terrestre bioceánico (Atlántico-Pacífico) y la Hidrovía Paraguay Paraná que incluye Paraguay, Argentina, Bolivia, Brasil y Uruguay.
Actividad 5	Análisis para aplicaciones eléctricas de hidrógeno como almacenamiento para la gestión de la demanda en coordinación con la empresa eléctrica (ANDE).
Actividad 6	Análisis para aprovechamiento de energías renovables no convencionales (solar y eólica) utilizando hidrógeno como almacenamiento (ANDE).
Actividad 7	Directrices para el desarrollo de normas y estándares de seguridad para la producción y manipulación de hidrógeno y compuestos asociados (por ejemplo, NH ₃).
Actividad 8	Directrices para planes de gestión ambiental para la producción, el transporte y los planes de marketing de hidrógeno y compuestos asociados.
Actividad 9	Desarrollo de una estrategia nacional para la economía verde del hidrógeno de manera consultiva e inclusiva, con objetivos, actividades y metas medibles como hoja de ruta para consolidar su desarrollo. Seguiría un enfoque multi-dimensional que incluye políticas, regulación, necesidades de infraestructura pública y privada, modelos de negocios y dimensiones de financiamiento.
Actividad 10	Desarrollo de un plan de acción para crear capacidades de recursos humanos nacionales en todas las áreas necesarias de la economía del hidrógeno. Las actividades de ejemplo incluyen el desarrollo de un centro de excelencia de hidrógeno verde, desarrollo curricular educativo específico, centros técnicos y académicos en el país para todos los aspectos de la cadena de valor del hidrógeno verde, promoviendo la igualdad en la participación de hombres y mujeres. Esto también incluye capacitación para el personal de respuesta a emergencias (bomberos, paramédicos, etc.).
Actividad 11	Estudio de viabilidad para la fabricación de electrolizadores y tecnologías asociadas al uso del hidrógeno en Paraguay con una base principal en materia prima y mano de obra local.
Actividad 12	Estudio y monitoreo del proyecto piloto, en su conjunto (hidrogenera, hidrolínera, vehículos, etc.), para la evaluación del funcionamiento real de las tecnologías implicadas en el ecosistema nacional.
Actividad 13	Conformación de un Centro de Excelencia Paraguayo con enfoque en el Hidrógeno y sus tecnologías, conformado por la academia, sociedad civil, gremios industriales, etc.

TABLA 17.
RESULTADOS
ESPERADOS DEL
PROYECTO

Actividad	
1	Se realizó el Foro internacional de Hidrógeno y se formó al menos 2 alianzas para fortalecer la Línea de Acción 2.
2	Se comprueba la viabilidad del desarrollo de la economía del hidrógeno en el país.
3	Rutas y ejes de transporte fluvial y terrestre identificados para desarrollar una economía sostenible e industrias de base, considerando la posición geográfica estratégica de Paraguay.
4	Analizadas las aplicaciones eléctricas del hidrógeno para aprovechamiento de renovables no convencionales y la gestión de la demanda.
5	Desarrollo de normas de seguridad para el hidrógeno.
6	Plan de Manejo Ambiental de las plantas de producción, transporte y dispensación de Hidrógeno y compuestos asociados.
7	Estrategia nacional para la economía del hidrógeno, incluido su uso y compuestos y productos asociados (por ejemplo, NH ₃ , metanol, oxígeno).
8	Programas de desarrollo de capacidades desarrollados para crear Recursos Humanos capacitados para el sector.
9	Se cuenta con la capacidad para promover la fabricación y el desarrollo de electrolizadores y tecnologías asociadas al uso del hidrógeno verde.
10	Se valida el funcionamiento éxito del proyecto piloto en el ecosistema nacional.
11	Se conforma un Centro Nacional de Excelencia en materia de hidrógeno verde para la investigación y el desarrollo tecnológico.
12	Se instala exitosamente la primera Hidrogenera + Estación de H ₂ verde
13	Se instala exitosamente la segunda Hidrogenera + Estación de H ₂ verde
14	Se instala exitosamente la tercera Hidrogenera + Estación de H ₂ verde

TABLA 18.
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS RELEVANTES DEL PROYECTO

	Costo Unitario	Cantidad	Características
Villa Elisa AMA			
Hidrogenera y Estación H ₂	1.969.189	1	Producción de 200 kg de H ₂ por día y demanda eléctrica de 450 kW
Aplicación Fluvial	200.000	-	A definir.
Sedans	90.000	1	Consumo de 5kg de H ₂ para 500 km
Utilitarios	90.000	1	Consumo de 2kg de H ₂ para 350 km
Buses/Camiones	500.000	1	Consumo de 45kg de H ₂ para 350 km
Ciudad del Este			
Hidrogenera y Estación H ₂	1.420.672	1	Producción de 60 kg de H ₂ por día y demanda eléctrica de 150 kW
Sedans	90.000	1	Consumo de 5kg de H ₂ para 500 km
Utilitarios	90.000	1	Consumo de 2kg de H ₂ para 350 km
Buses/Camiones	500.000	1	Consumo de 45kg de H ₂ para 350 km
Expansión de Suministro y Demanda			
Hidrogenera y Estación H ₂ en Encarnación	1.420.672	1	Producción de 60 kg de H ₂ por día y demanda eléctrica de 150 kW
Sedans	90.000	1	Consumo de 5kg de H ₂ para 500 km
Utilitarios	90.000	1	Consumo de 2kg de H ₂ para 350 km
Expansión de Demanda	761.561	-	A definir.

TABLA 19.
PRESUPUESTO
DETALLADO
PARA LA LÍNEA
DE ACCIÓN 1

Línea de Acción 1 - Promoción y Desarrollo de la Economía del Hidrógeno Verde en Paragua	Costo Unitario	Cant.	Total (USD)
Actividad 1	50.000	1	50.000
Actividad 2	100.000	1	100.000
Actividad 3	100.000	1	100.000
Actividad 4	50.000	1	50.000
Actividad 5	50.000	1	50.000
Actividad 6	50.000	1	50.000
Actividad 7	50.000	1	50.000
Actividad 8	50.000	1	50.000
Actividad 9	120.000	1	120.000
Actividad 10	80.000	1	80.000
Actividad 11	100.000	1	100.000
Actividad 12	100.000	1	100.000
Actividad 13	100.000	1	100.000
Línea de Acción 1			1.000.000

TABLA 20.
PRESUPUESTO
DETALLADO
PARA LA LÍNEA
DE ACCIÓN 2

Línea de Acción 2 – Desarrollo de un Plan Piloto Demostrativo de Hidrógeno Verde	Costo Unitario	Cant.	Total (USD)
Villa Elisa AMA			3.130.783
Contratación llave en mano (EPC) de la Hidrogenadora y Estación H ₂ (200kg/día)	1.969.189	1	1.969.189
Adquisición Transportes tipo FCEV	-	-	880.000
Sedans	90.000	1	90.000
Utilitarios	90.000	1	90.000
Buses/Camiones	500.000	1	500.000
Usos Fluviales	200.000	-	200.000
Contingencia	-	-	281.594
Ciudad del Este			2.303.828
Contratación llave en mano (EPC) de la Hidrogenadora y Estación H ₂ (60kg/día plus ²⁰)	1.420.672	1	1.420.672
Adquisición Vehículos tipo FCEV	-	-	680.000
Sedans	90.000	1	90.000
Utilitarios	90.000	1	90.000
Buses/Camiones	500.000	1	500.000
Contingencia	-	-	203.156
Expansión de Suministro y Demanda²¹	E		3.165.389
Contratación llave en mano (EPC) de la Hidrogenadora y Estación H ₂ (60kg/día plus ²²)	1.420.672	1	1.420.672
Adquisición Vehículos tipo FCEV	-	-	680.000
Sedans	90.000	1	90.000
Utilitarios	90.000	1	90.000
Buses/Camiones	500.000	1	500.000
Expansión de la demanda H ₂	-	-	761.561
Contingencia	-	-	203.156
Línea de Acción 2			8.500.000

20 Estación con capacidad de producción de 60kg/día con almacenamiento de 72 kg.

21 Se espera que esta demanda y suministro adicional crezca a partir otros participantes que se sumen al piloto a partir de las actividades de promoción de inversión privada.

22 Estación con capacidad de producción de 60kg/día con almacenamiento de 72 kg.

TABLA 21.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO DE H₂ (PROPUESTA)

Actividad	Duración	Meses (24)
Etapa Pre contractual		
Planificación y presupuesto de contrataciones. Estimación de costos. Estudios previos. Proyecto de obra. Desarrollo del pliego de bases y condiciones. Determinación de los criterios de calificación. Elaboración del contrato y sus condiciones. Evaluación de ofertas. Comunicaciones y publicaciones. Firma del contrato.	5 meses	
Etapa de Ejecución Contractual		
1.Gestiones Administrativas Previas	2 meses	
Registro, subcontratación y cesiones. Contrato de seguros. Presentación de garantía de cumplimiento de contrato. Presentación de solicitud de anticipo y presentación de garantía de anticipo. Pago de anticipo. Obtención de autorizaciones y permisos requeridos para el inicio de la obra. Planos. Presentación de seguros. Presentación del programa de ejecución. Entrega de sitio y orden de inicio de obra. Instalación del equipo de trabajo		
2. Inicio y Ejecución de Actividades	16 meses	
Construcción de Obras Civiles.	3 meses	
Montaje de Instalaciones Eléctricas.	2 meses	
Instalación de Electrolizador y equipos asociados*.	11 meses	
Instalación de Estación de H ₂ y equipos asociados*.		
Control de calidad. Ensayos y pruebas.	6 meses	
Capacitación para operación de las instalaciones		
Verificación final.	1 mes	
Etapa de Finalización del Contrato		
Declaración de recepción provisoria por parte de la Contratante. Preparación de la cuenta final. Preparación, aprobación y pago de la Cuenta general. Finiquito. Procedimiento previo a la Recepción Definitiva. Declaración de la Recepción definitiva.	3 meses	
Notas: – (*) Los tiempos consideran importación y despacho de todos los componentes que no están disponibles localmente. – Se reconoce que la alta demanda de los componentes asociados a la producción y suministro de hidrógeno verde pueden incrementar los tiempos de ejecución de la obra. – Se debe considerar que estos plazos podrían incrementarse hasta en un 50%.		

TABLA 22.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES COMPRA DE VEHÍCULOS (PROPUESTA)

Actividad	Duración	Meses (10)									
Planificación, estimación de costos y presupuesto.	1 mes	■									
Desarrollo del pliego de bases y condiciones.	3 meses	■	■	■							
Determinación de los criterios de calificación.	1 mes			■							
Elaboración del contrato y sus condiciones.	1 mes				■						
Evaluación de ofertas.	1 mes					■					
Comunicaciones y publicaciones.	1 mes						■				
Firma del contrato	1 mes							■			
Recepción del producto, verificación y pagos*.	2 meses							■	■	■	■

Notas:

- (*) Los tiempos consideran importación y despacho de todos los componentes que no están disponibles localmente.
- Se debe considerar que estos plazos podrían incrementarse hasta en un 50%.

TABLA 23.

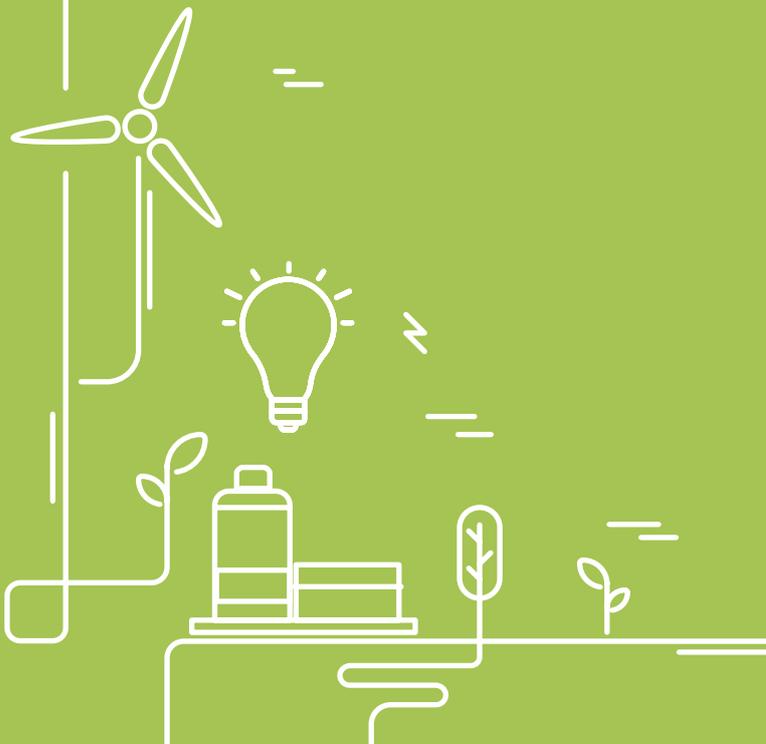
BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE POR LAS TRES PLANTAS EN 10 AÑOS

Producción de Hidrógeno	1.168.000	Kg
Consumo de Electricidad	65.700.000	kWh
Costo de Electricidad	1.720.650	USD
Cantidad de Gasolina Sustituída	7.358.400	ltrs
Km disponibles	146.000.000	km
CO ₂ evitado	21.170	tn.

Supuestos: Se consideró las prestaciones de un automóvil ligero a hidrógeno y su homólogo a gasolina. El consumo en ambos casos es de 0,8 kg de H² (Toyota 2021) y 6,2 ltrs de gasolina por cada 100 km recorrido, en este último caso un factor de emisión de 145 g de CO₂/Km (ICCT 2020). El costo medio de la electricidad en 26,18 USD/MWh, del hidrógeno en 1,41 USD/kg y de la gasolina 0,9 USD/ltr. Tomando esas consideraciones se llega al precio de trasladarse un trayecto de 100 km en ambos tipos de vehículos siendo 1,13 USD para el caso del hidrógeno y 5,022 USD.

09.

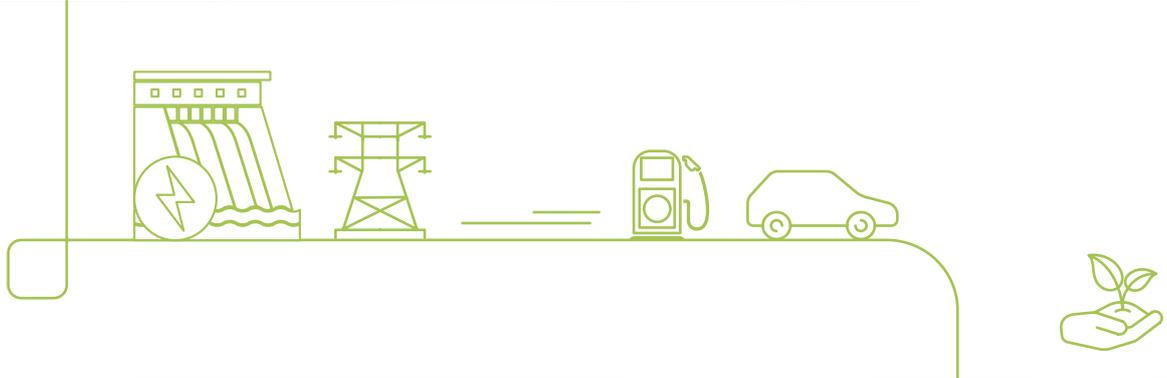
Referencias



09.

REFERENCIAS

- BBC. 2020. “Young people ‘most likely to lose job’ in lockdown.” BBC News, 19 de mayo. Accedido el 31 de julio de 2020. <https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/Balance2018/BENpy2018-Estadistico.pdf>.
- Deutsch, Matthias y Graf Andreas. 2019. “EU-wide innovation support is key to the success of electrolysis manufacturing in Europe.” https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf. Accedido el 16 de julio de 2020.
- Gustavo Arturo Riveros-Godoy y M. Rivarolo. 2019. “Hydrogen production in Paraguay toward a low carbon economy: the case of Yguazu project.” https://www.researchgate.net/publication/333149271_Hydrogen_production_in_Paraguay_toward_a_low_carbon_economy_the_case_of_Yguazu_project.
- Hannah Ritchie y Max Roser. 2019. “Age Structure.” Our World in Data. <https://ourworldindata.org/age-structure>.
- Hecht, Ethan S. y Joseph Pratt. 2017. “Comparison of Conventional vs. Modular Hydrogen Refueling Stations, and On-Site Production vs. Delivery.” <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64107.pdf>. Accedido el 15 de julio de 2020.
- ICCT. 2020. “Emissions Factors.” <https://theicct.org/sites/default/files/info-tools/One%20table%20to%20rule%20them%20all%20v1.pdf>.
- IEA. 2019. ““The Future of Hydrogen”.”
- Itaipú Binacional, Fundación Parque Tecnológico Itaipú y Fundación Bariloche. 2015. “Prospectiva Energética de la República de Paraguay 2013-2040.” <https://die.itaipu.gov.py/die/files/files2016/file/Presentacion%20Final%20FB%2021-11-16%20Final.pdf>.
- Kantis, Hugo y Pablo Angelelli. 2020. Emprendimientos de base científico-tecnológica en América Latina: Importancia, desafíos y recomendaciones para el futuro: Inter-American Development Bank.
- Rivas, María Eugenia, Ancor Suárez-Alemán y Tomás Serebrisky. 2019. “Stylized Urban Transportation Facts in Latin America and the Caribbean.”
- Sánchez, Juan David. 2020. “OPS/OMS | Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes.” Accedido el 20 de septiembre de 2020.274Z. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14454:ambient-and-household-air-pollution-and-health-frequently-asked-questions&Itemid=72243&lang=es.
- Toyota. 2021. “Coches de Hidrógeno, combustible del futuro.” https://www.toyota.es/hidrogeno/?utm_medium=Search&utm_source=google&utm_campaign=Always_On&tc_alt=58776&n_o_pst=n_o_pst&n_okw=%2Bmirai_b__c_85033163676&gclid=EA1aIQobChMI-59C2wf-A7wIVtxoGAB059QmvEAAYA-SAAEgK4r_D_BwE&gclsrc=aw.ds.
- VMME. 2019. “Balance Energético Nacional 2018: En términos de Energía Final.”





Ministerio de
**OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES**
Viceministerio de
MINAS Y ENERGÍA