



ESTUDIOS DE CASO

MODELOS DE NEGOCIO DE HIDRÓGENO VERDE EN LATINOAMÉRICA

4.

PROYECTO
DE TRANSPORTE
CON HIDRÓGENO
VERDE KAHIRÓS
EN URUGUAY.

Esta publicación forma parte de las actividades del proyecto “Avanzando un Enfoque Regional hacia la Economía del Hidrógeno Verde en América Latina y el Caribe” (H2 ¡Vamos! / H2 Go!), una iniciativa liderada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y financiada por el Fondo Verde para el Clima. El proyecto busca fortalecer las capacidades regionales para impulsar una economía del hidrógeno verde justa, inclusiva y sostenible.

CONTENIDO

1. Resumen Ejecutivo:	3
2. Contexto y Antecedentes	3
3. Descripción del Proyecto	4
4. Uso de la Tecnología	4
5. Propuesta de Valor	6
6. Proyectos Similares en América Latina y Adaptación Regional	7
7. Segmento de Mercado	7
8. Actividades Clave	8
9. Socios Clave	9
10. Resultados y Beneficios	10
11. Estructura de Costos	11
12. Estructura de Financiamiento	12
13. Fuentes de Ingresos	13
14. Lecciones Aprendidas	14
15. Conclusiones	15

1. RESUMEN EJECUTIVO:

El Proyecto Kahirós, ubicado en Fray Bentos, Uruguay, es la primera iniciativa en América Latina dedicada a la producción y uso de hidrógeno verde para el transporte de carga pesada. Liderado por un consorcio de empresas y con financiamiento aprobado por el Grupo Santander [1], el proyecto tiene como objetivo reemplazar camiones diésel por vehículos impulsados por hidrógeno, reduciendo las emisiones de CO₂ y promoviendo la descarbonización del sector logístico.

La planta contará con un parque solar de 4,9 MW y un electrolizador de 2 MW [2], permitiendo la producción de 77 toneladas de hidrógeno verde anuales. La iniciativa contempla la operación de seis camiones de carga pesada alimentados por hidrógeno, con una autonomía de 700 km por recarga y tiempos de repostaje de menos de 30 minutos.

Con una inversión inicial de USD 38.6 millones [3], el proyecto comenzará operaciones en 2026 y espera reducir hasta 870 toneladas de CO₂ anuales [4], buscando posicionar a Uruguay como líder en transporte sostenible.

2. CONTEXTO Y ANTECEDENTES

El sector de transporte en Uruguay representa una porción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente debido al uso intensivo de combustibles fósiles en la logística pesada. No obstante, el país se destaca por contar con una matriz eléctrica mayoritariamente renovable. Entre 2016 y 2023, el promedio de generación de electricidad a partir de fuentes renovables fue del 94% [5], gracias a la integración de energía hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa. Esta condición crea un entorno altamente propicio para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde, al asegurar una fuente de electricidad limpia y estable para su producción.



El Proyecto Kahirós surge en este contexto como un proyecto piloto que busca descarbonizar el transporte de carga en la industria forestal, aprovechando el potencial solar del país y su infraestructura energética sostenible. La ubicación estratégica en Fray Bentos permite la integración eficiente de la producción de hidrógeno con operaciones logísticas existentes.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto Kahirós, ubicado en Fray Bentos, Uruguay, es una iniciativa pionera en América Latina enfocada en la producción y uso de hidrógeno verde para descarbonizar el transporte de carga pesada en la industria forestal. El proyecto combina energía renovable, producción de hidrógeno y una flota de camiones eléctricos impulsados por hidrógeno.

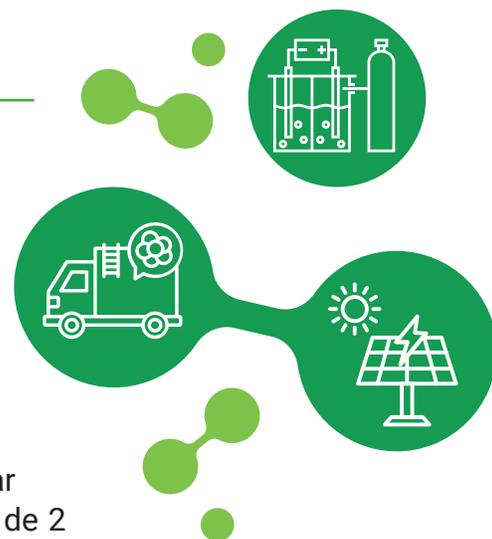
Para la generación de hidrógeno, contará con un parque solar fotovoltaico de 4,9 MW, que alimentará un electrolizador PEM de 2 MW, con capacidad para producir 77 toneladas de hidrógeno verde al año. Este hidrógeno será almacenado en tanques de alta presión y distribuido mediante una hidrolínea diseñada para permitir recargas rápidas en menos de 30 minutos [2].

La flota estará compuesta por seis camiones de carga pesada, cada uno con una autonomía de 700 kilómetros por recarga y capacidad de 48 toneladas de carga. Estos vehículos serán operados por FrayLog que brinda servicio logístico a Montes del Plata, transportando madera en rutas de alta demanda. Se estima que el uso de estos camiones evitará la emisión de aproximadamente 870 toneladas de CO₂ al año [2], además de reducir la contaminación local al evitar las emisiones de NOx y partículas finas.

Además, el proyecto incorpora programas de capacitación técnica para el personal, con el objetivo de facilitar la transición hacia tecnologías de hidrógeno. También implementará sistemas de monitoreo en tiempo real para optimizar la operación y evaluar el desempeño ambiental y logístico.

4. USO DE LA TECNOLOGÍA

El Proyecto Kahirós en Uruguay utiliza tecnología avanzada para la producción, almacenamiento, distribución y uso de hidrógeno verde en el transporte de carga pesada. A continuación, se describe el proceso tecnológico en detalle:



1. Producción de Hidrógeno Verde

El hidrógeno verde se genera mediante un electrolizador de membrana de intercambio de protones (PEM) de 2 MW, que emplea electricidad producida por un parque solar fotovoltaico de 4,9 MW. El proceso de electrólisis divide el agua en hidrógeno y oxígeno, asegurando que la producción sea completamente libre de emisiones de carbono [2].

- ▶ **Fuente de Energía:** Paneles solares suministran electricidad renovable al electrolizador.
- ▶ **Electrólisis:** El agua purificada se descompone en hidrógeno y oxígeno utilizando una corriente eléctrica.
- ▶ **Producción Total:** 77 toneladas de hidrógeno verde al año.

2. Almacenamiento y Distribución

El hidrógeno producido es comprimido y almacenado en tanques de alta presión, diseñados para mantener su estabilidad y seguridad. Posteriormente, se transporta hacia una hidrolinera especializada, donde se realiza la recarga de los camiones [2].

- ▶ **Almacenamiento:** Se emplean depósitos de alta presión diseñados para evitar fugas y maximizar la eficiencia del almacenamiento.
- ▶ **Hidrolinera:** Permite recargas rápidas de hidrógeno en menos de 30 minutos.

3. Recarga y Conversión de Energía

Los camiones de hidrógeno están diseñados para ser recargados en la hidrolinera del proyecto, donde el hidrógeno es transferido a sus tanques de almacenamiento interno. Luego, este hidrógeno es convertido en electricidad mediante una pila de combustible [2].

- ▶ **Proceso de recarga:** Se conecta el camión a la hidrolinera, y el hidrógeno es transferido de los tanques de almacenamiento a los del vehículo.
- ▶ **Conversión energética:** En la pila de combustible, el hidrógeno reacciona con el oxígeno del aire, produciendo electricidad y liberando agua como único subproducto.

4. Operación de los Camiones

Los camiones eléctricos impulsados por hidrógeno son operados por FrayLog que brinda servicio logístico a Montes del Plata para el transporte de madera. Cada unidad cuenta con una autonomía de 700 km por recarga y capacidad de carga de 48 toneladas.

- ▶ Motor eléctrico: Propulsado por la electricidad generada en la pila de combustible.
- ▶ Optimización de energía: Según la revisión de catálogos del fabricante, cuenta con sistema de baterías que almacena energía adicional para proporcionar potencia extra en momentos clave, como aceleraciones o pendientes pronunciadas [6].
- ▶ Reducción de emisiones: El uso de hidrógeno permite eliminar aproximadamente 870 toneladas de CO₂ al año, además de evitar la emisión de contaminantes locales como NOx y partículas finas.

Estos vehículos operan a presión, lo cual permite alcanzar autonomías superiores a los 700 bar y transportar cargas de hasta 48 toneladas [2].

5. PROPUESTA DE VALOR

El Proyecto Kahirós es una solución innovadora para descarbonizar el transporte de carga pesada en la industria forestal de Uruguay. Su propuesta combina energía renovable, producción de hidrógeno verde y una flota de camiones con celdas de combustible, reduciendo significativamente el impacto ambiental del sector.

Uno de sus principales beneficios es la reducción de 870 toneladas de CO₂ al año [4], además de eliminar contaminantes locales como NOx y partículas finas. Gracias a su autonomía de 700 km y recargas en menos de 30 minutos, los camiones ofrecen un rendimiento competitivo frente a modelos diésel, sin comprometer la eficiencia operativa [2].

El proyecto también impulsa la capacitación técnica en hidrógeno y movilidad sostenible, sentando las bases para la expansión de esta tecnología en Uruguay. Además, Kahirós se posiciona como un modelo replicable en América Latina, demostrando la viabilidad del hidrógeno verde en el transporte pesado y fomentando su adopción en otros sectores industriales.

- ▶ **Gobiernos e Instituciones:** Organismos que impulsan la transición energética y pueden incentivar su adopción a través de políticas de fomento y financiamiento de infraestructura [5].
- ▶ **Inversores y Socios Estratégicos:** Empresas y fondos de inversión que buscan participar en el desarrollo del hidrógeno verde en la región.

El proyecto representa una oportunidad para expandir el uso del hidrógeno verde en otros sectores industriales, incluyendo la agroindustria y la logística portuaria, donde la electrificación completa del transporte no es viable.

8. ACTIVIDADES CLAVE

El desarrollo del Proyecto Kahirós contempla varias etapas claramente definidas, desde la planificación inicial hasta su puesta en marcha y operación, asegurando la viabilidad técnica y ambiental del proyecto. Las siguientes fases están validadas según información oficial disponible [2][4]:

FASE 1: PRESENTACIÓN Y PLANIFICACIÓN INICIAL (2024)

- ▶ Presentación pública del proyecto, confirmación de socios estratégicos y financiamiento.
- ▶ Coordinación con autoridades locales y nacionales para aprobación y obtención de permisos.

FASE 2: PREPARATIVOS Y CONSTRUCCIÓN (2025)

- ▶ Inicio de obras civiles y preparación del sitio en Fray Bentos.
- ▶ Construcción del parque solar y de la infraestructura necesaria para producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno verde.

FASE 3: INICIO DE OPERACIONES Y VALIDACIÓN (2026)

- ▶ Instalación y puesta a punto del electrolizador y la estación de recarga (hidrolinera).
- ▶ Comienzo de producción de hidrógeno verde y puesta en operación inicial de la flota de camiones.
- ▶ Monitoreo inicial de desempeño operativo, técnico y ambiental para asegurar la efectividad del sistema.

Estas fases, validadas mediante fuentes oficiales, delinean el camino del Proyecto Kahirós, posicionándolo como referencia regional en movilidad sostenible impulsada por hidrógeno verde.

9. SOCIOS CLAVE

El éxito del Proyecto Kahirós depende de la colaboración estratégica de diversas empresas e instituciones, cada una desempeñando un papel esencial para la implementación, operación y escalabilidad del proyecto:

- ▶ **NASPUY S.A.:** Es la sociedad titular del proyecto, formada por Ventus, Fraylog y Hyundai Fidocar, responsables directos del desarrollo integral del Proyecto Kahirós [2][4].
- ▶ **Ventus:** Empresa especializada en la estructuración, desarrollo y construcción de proyectos de energías renovables en Uruguay, encargada de la implementación técnica y coordinación general del proyecto [2].
- ▶ **Fraylog S.A.:** Grupo especializado en logística y transporte forestal, siendo uno de los principales operadores logísticos para Montes del Plata y UPM. Fraylog operará directamente la flota de camiones impulsados por hidrógeno [2].
- ▶ **Hyundai Fidocar:** Representante oficial de Hyundai en Uruguay, proveedor de soluciones automotrices y de movilidad sostenible. Suministrará los camiones Hyundai Xcient con tecnología de celdas de combustible para el proyecto [2][6].
- ▶ **Montes del Plata:** Empresa del sector forestal que respalda estratégicamente el proyecto, asegurando una demanda sostenida durante 10 años para los servicios de transporte con cero emisiones [2].
- ▶ **Grupo Santander:** Institución financiera clave, encargada del financiamiento que permite la ejecución y viabilidad económica del proyecto [1].

La colaboración articulada entre estos socios estratégicos fortalece la implementación exitosa del Proyecto Kahirós, estableciendo un modelo replicable en Uruguay y América Latina.



10. RESULTADOS Y BENEFICIOS

El Proyecto Kahirós generará impactos positivos a nivel ambiental, económico y social, pudiendo consolidarse como un modelo para la descarbonización del transporte pesado en Uruguay.



1. Beneficios Ambientales

- ▶ Reducción de emisiones: Se estima una reducción anual de 870 toneladas de CO² con la flota inicial de camiones de hidrógeno, eliminando la dependencia del diésel [4].
- ▶ Reducción de contaminantes locales: La sustitución por hidrógeno verde eliminará emisiones de NOx y partículas finas, mejorando la calidad del aire [4].
- ▶ Energía renovable eficiente: El hidrógeno se producirá mediante energía solar, asegurando sostenibilidad ambiental [2].



2. Impacto Económico

- ▶ Reducción futura de costos: Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), a mediano plazo se espera una caída significativa en los costos del hidrógeno verde por economías de escala, haciendo competitiva esta tecnología frente al diésel [10].
- ▶ Atracción de inversiones: El proyecto podría atraer inversiones internacionales hacia infraestructura y movilidad sostenible.
- ▶ Fortalecimiento del sector forestal: Empresas como Montes del Plata se beneficiarán al mejorar su competitividad y sostenibilidad ambiental [2].



3. Impacto Social

- ▶ Generación de empleo: Creación de más de 70 puestos de trabajo en producción de hidrógeno, mantenimiento e infraestructura [4].
- ▶ Capacitación especializada: Formación técnica en tecnologías limpias, favoreciendo la transición energética [2].

Estos beneficios posicionan al proyecto Kahirós como referencia clave para la transición hacia una economía sostenible en Uruguay y América Latina.

11. ESTRUCTURA DE COSTOS

La estructura de costos del Proyecto Kahirós se divide en inversión inicial y costos operativos recurrentes, reflejando las inversiones necesarias para infraestructura, producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno verde [4].

1. Inversión Inicial:

- ▶ Construcción del parque solar fotovoltaico.
- ▶ Implementación del electrolizador PEM (2 MW).
- ▶ Infraestructura para almacenamiento y distribución del hidrógeno (hidrolínea).
- ▶ Adquisición inicial de seis camiones de hidrógeno con capacidad para carga pesada.
- ▶ Instalación de sistemas de control, monitoreo y seguridad.
- ▶ Capacitación técnica del personal para operación y mantenimiento.

2. Costos Operativos Anuales:

- ▶ Producción continua de hidrógeno verde (energía y agua).
- ▶ Mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura instalada.
- ▶ Operación de la flota de camiones (recargas y mantenimiento).
- ▶ Monitoreo ambiental y auditorías periódicas.
- ▶ Capacitación continua y actualización técnica del personal operativo.

Nota: Esta estructura presenta los componentes principales sin especificar montos concretos debido a la ausencia de datos específicos verificables en la documentación recopilada.

12. ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO

El Proyecto Kahirós cuenta con una estructura de financiamiento sólida, combinando inversión privada y financiamiento bancario para garantizar su viabilidad económica y su implementación exitosa [1][2].

- ▶ **Inversión Total:** La inversión total del proyecto se estima en USD 38.600.000 [4].



FUENTES DE FINANCIAMIENTO:

1. Inversión Privada:

- ▶ **Grupo Santander:** Actúa como el principal inversor del proyecto, aportando una parte significativa del capital necesario para su desarrollo [1].

2. Empresas Socias:

- ▶ **Ventus:** Especializada en energías renovables, aporta su experiencia en la estructuración y construcción de la planta [2].
- ▶ **Fraylog S.A.:** Empresa de logística y transporte, operará la flota de camiones impulsados por hidrógeno [2].
- ▶ **Hyundai Fidocar:** Representante de Hyundai en Uruguay, suministrará los camiones de hidrógeno y brindará soluciones de movilidad sostenible [2][6].

3. Cliente Principal:

- ▶ **Montes del Plata:** Empresa forestal que utilizará el servicio de transporte proporcionado por Fraylog, asegurando la demanda del hidrógeno producido y contribuyendo a la viabilidad económica del proyecto [2].

Esta combinación de inversión privada y financiamiento bancario establece una base financiera sólida para la implementación y operación exitosa del Proyecto Kahirós, posicionándolo como un referente en la descarbonización del transporte pesado en Uruguay.

13. FUENTES DE INGRESOS

El Proyecto Kahirós ha sido diseñado con un modelo de negocio basado principalmente en la prestación de servicios logísticos sostenibles con camiones impulsados por hidrógeno. Las fuentes clave de ingresos incluyen:

- ▶ **Servicios de Transporte con Cero Emisiones:** El principal ingreso provendrá de los contratos de servicios logísticos con Montes del Plata y potencialmente otras empresas industriales. Estas compañías pagarán una tarifa adicional respecto al servicio tradicional, valorando el beneficio de la reducción significativa de emisiones de carbono [2].
- ▶ **Certificados de Carbono:** La reducción anual de aproximadamente 870 toneladas de CO₂ permitirá la generación y venta de créditos de carbono en mercados internacionales, con ingresos adicionales estimados entre USD 17.000 y 26.000 al año [4].
- ▶ **Incentivos Gubernamentales:** El proyecto se beneficia de incentivos económicos del gobierno uruguayo, promoviendo el uso de energías renovables y movilidad sostenible. [11] (Para más información ver: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/aspectos-interes-instrumentos-promocion>)

En conjunto, estas fuentes de ingresos asegurarán un flujo económico estable y sostenible para la operación inicial, con potencial de crecimiento conforme se incremente la escala operativa.

14. LECCIONES APRENDIDAS

El desarrollo del Proyecto Kahirós ofrece enseñanzas clave para futuros proyectos relacionados con hidrógeno verde y movilidad sostenible en América Latina, especialmente en el sector del transporte pesado.

1. Importancia del Financiamiento Temprano

La aprobación anticipada de financiamiento, como el obtenido del Grupo Santander, es crucial para reducir riesgos, acelerar la implementación, y demostrar que los bancos están interesados en respaldar proyectos innovadores relacionados con energías limpias [1].

2. Beneficios Diferenciales de la Tecnología de Vehículos de Hidrógeno (FCEV) frente a Vehículos a Batería (BEV)

Las ventajas operativas específicas de los camiones impulsados por hidrógeno, como una mayor autonomía, tiempos más rápidos y eficientes de recarga, así como la posibilidad de cargas pesadas sin pérdida considerable de rendimiento, hacen que esta tecnología sea altamente competitiva frente a alternativas exclusivamente eléctricas [6][10].

3. Desafíos en Infraestructura y Logística

La experiencia de planificación muestra que desarrollar infraestructura especializada para hidrógeno, como estaciones de recarga (hidrolineras) y sistemas seguros de almacenamiento, requiere una atención especial desde etapas iniciales, debido a su complejidad técnica y logística [4].

4. Garantía de Demanda (Offtaker)

La clave del éxito económico del proyecto radica en contar desde el inicio con una demanda asegurada (offtaker) que justifique las inversiones iniciales en infraestructura y vehículos. En este caso, Montes del Plata juega un rol esencial al comprometerse con el uso sostenido del servicio logístico, haciendo viable el proyecto desde su concepción [2].

5. Importancia del Marco Regulatorio y Apoyo Estatal

El desarrollo exitoso de proyectos de hidrógeno verde depende en gran medida de contar con regulaciones claras e incentivos adecuados por parte del gobierno. Este apoyo es fundamental para fomentar la adopción de tecnologías sostenibles en el transporte pesado [11].

15. CONCLUSIONES

Este proyecto representa un avance significativo en la descarbonización del transporte de carga en América Latina mediante la producción y uso de hidrógeno verde. Al integrar energías renovables, tecnología avanzada de electrólisis y una flota de camiones de cero emisiones, Kahirós establece un modelo innovador y replicable [2][4].

1. Impacto Ambiental Positivo

Se estima una reducción anual de 870 toneladas de CO₂, además de la eliminación de emisiones locales de NOx y partículas finas [4].

2. Solidez Financiera

Con una inversión total de USD 38.600.000, el proyecto ha asegurado financiamiento clave, especialmente con el apoyo del Grupo Santander [1].

3. Innovación Tecnológica

Uso de tecnologías de punta en el desarrollo de una hidrolinera de alta eficiencia para garantizar el abastecimiento de los camiones de hidrógeno [6].

4. Modelo de Negocio Sostenible

El proyecto se sustenta en la prestación de servicios de transporte sostenible, respaldado por contratos a largo plazo con empresas como Montes del Plata [2].

5. Escalabilidad y Relevancia Regional

Este modelo puede ser replicado en otros sectores industriales y países de América Latina, sirviendo como referencia para futuras iniciativas de hidrógeno verde en el transporte.

Kahirós destaca el papel crucial del hidrógeno en la transición energética y marca un precedente para futuras iniciativas en la región. Con un enfoque en sostenibilidad, eficiencia operativa y financiamiento estructurado, el proyecto posiciona a Uruguay como un referente en movilidad de carga limpia en América Latina.

16. FUENTES

- [1] Grupo Santander (2023). Anuncio oficial de financiamiento del Proyecto Kahirós.
-
- [2] Kahirós Uruguay (2023). Sitio web oficial del Proyecto Kahirós. <https://kahiros.com.uy>
-
- [3] Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (2023). Presentación oficial del Proyecto Kahirós y detalles de inversión. <https://www.gub.uy/...>
-
- [4] Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Kahirós. (documento proporcionado por el usuario).
-
- [5] Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (2023). *Balance Energético Nacional (BEN)*. <https://ben.miem.gub.uy>
-
- [6] Hyundai XCIENT Fuel Cell Technical Data (2023). Características técnicas del camión eléctrico impulsado por hidrógeno (Fuel Cell Electric Vehicle). <https://transportelatino.net/?p=2838>
-
- [7] Cavendish Hydrogen CR. “Cavendish is a startup founded by Purdy Motor... decarbonize the Costa Rican economy.” [Online]. Available: <https://cavendish.cr/>
-
- [8] BNamericas. “Cavendish joins Mesoamerica and Ad Astra in ProNova Energy, a joint venture to develop green hydrogen projects in Costa Rica.” 13 Jan 2023. [Online]. Available: <https://www.bnamericas.com/en/news/cavendish-joins-mesoamerica-and-ad-astra-in-pronova-energy-a-joint-venture-to-develop-green-hydrogen-projects-in-costa-rica>
-
- [9] Fortescue Brasil. “Projeto do Hub de Hidrogênio Verde no Porto de Pecém.” [Online]. Available: <https://brasil.fortescue.com/pt>
-
- [10] Agencia Internacional de Energía (IEA) (2023). *Global Hydrogen Review 2023*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>
-
- [11] Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (s.f.). *Instrumentos de Promoción*. [Online]. Available: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/aspectos-interes-instrumentos-promocion>
-

