



Gerencia de Tecnologías de Energías Renovables

**Desenvolvimento da Infraestrutura Energética
e de Transporte para a Tríplice Fronteira, no
Paraná**

EL POTENCIAL USO DEL HIDRÓGENO VERDE EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE

Gustavo Riveros, PhD
PTI-Paraguay

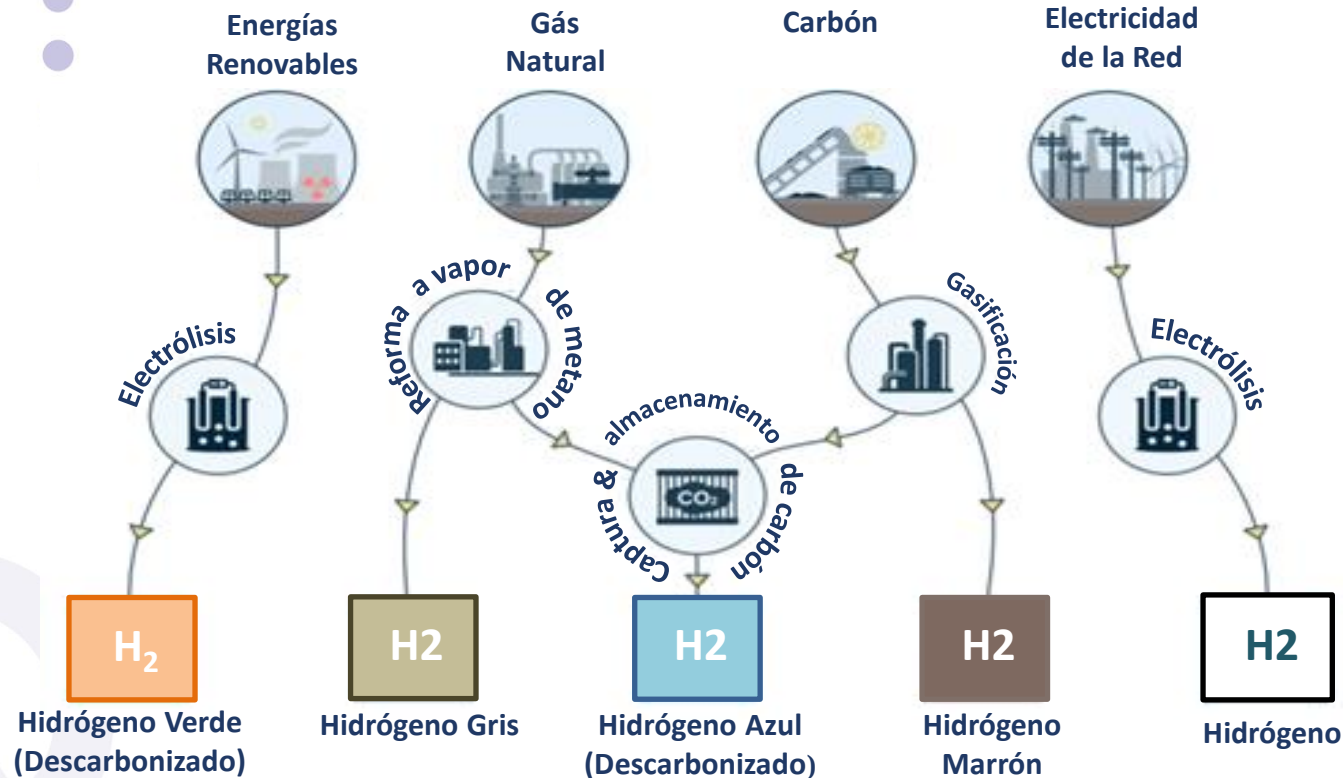
DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Contenido

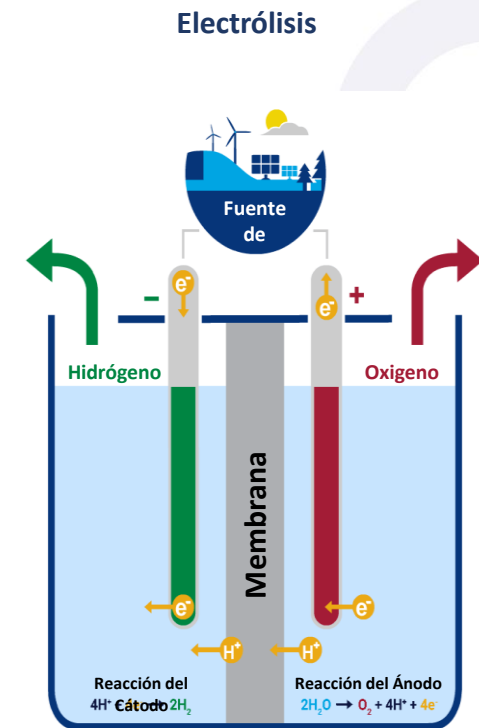
- **Hidrógeno: contextualización;**
- **Situación energética en Paraguay**
- **Trabajos realizados:**
- **Uso de electricidad en el transporte de cargas a través del hidrógeno.**
- **Uso de electricidad en el transporte de carga a través del hidrógeno.**
- **Carretera del hidrógeno Brasil/Paraguay.**
- **Conclusiones.**

DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Rutas de Producción de Hidrógeno



Fuente: (Barlett, 2019).

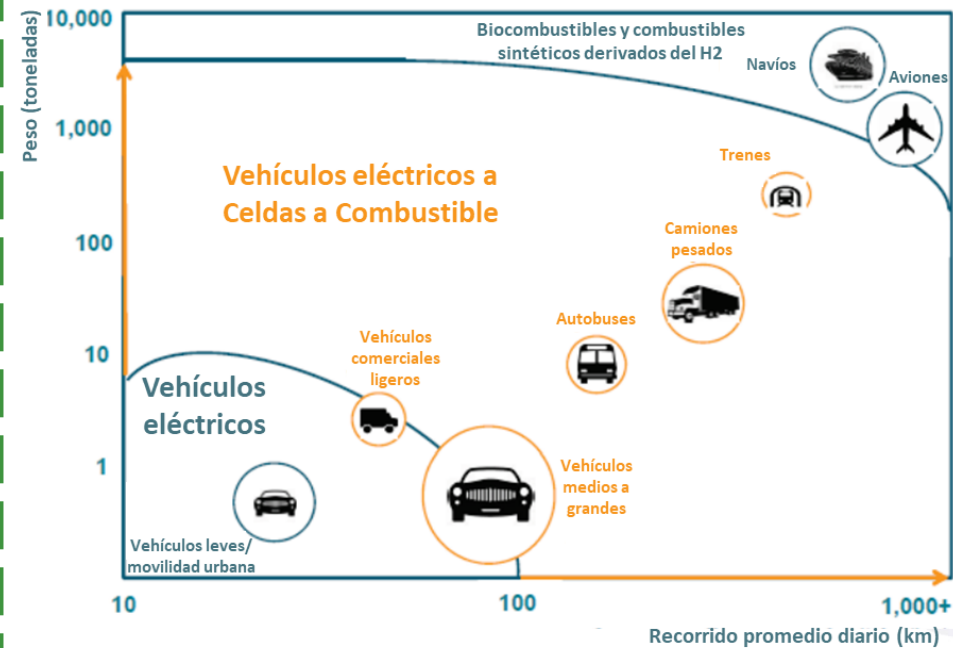


DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ



Fuente: Adaptado de (Lexology, 2020).

El hidrógeno presenta potencial para descarbonizar sectores económicos difíciles de abatir (industrias y transportes pesados).



Fuente: Adaptado de (Ballard, 2018).

Situación Energética Actual

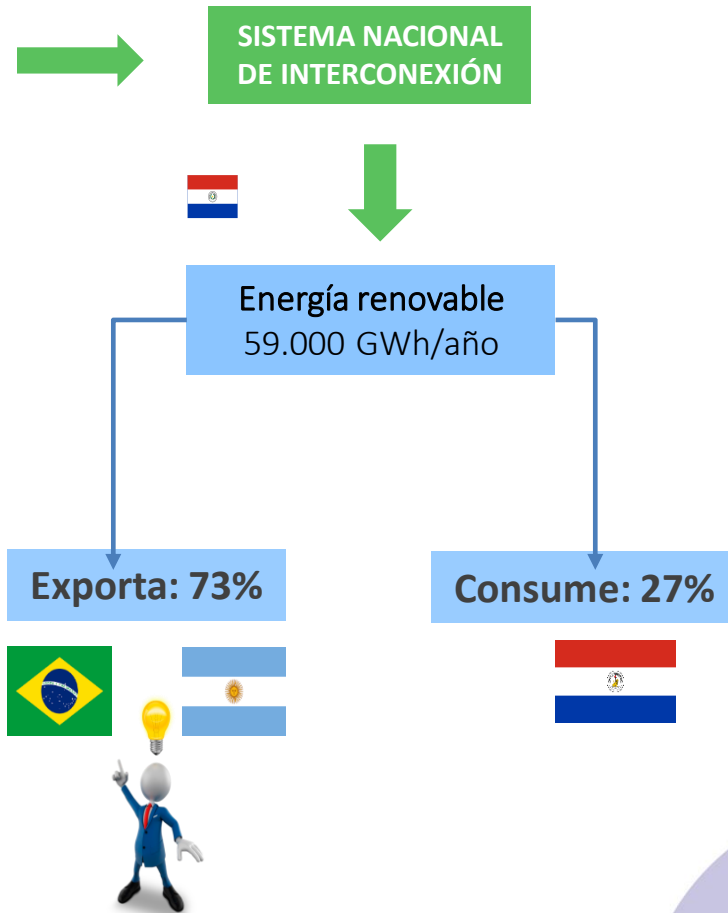


CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

ITAIPU BINACIONAL
14,000 MW

YACYRETA BINACIONAL
3,200 MW

ACARAY
250 MW



DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Situación Energética Actual



Centrales Hidroeléctricas	Potencia (MW)	Nominal Paraguay (MW)
Itaipú	14.000	7.000
Yacyreta	3.200	1.600
Acaray	210	210
Total	17.410	8.810

PMG – 2021 - 2040

Periodo o año	Central Potencia Agregada	[MW]
2027/2030	CH Acaray	200
2024/2026	CH Aña Cuá	135
2035	CH Río Paraguay A	72
2039	CH Río Paraguay B	72
2021/2029	Centrales Fotovoltaicas	425
2021/2031	Centrales Híbridas	5,03
2025/2033	PCH	203,44
Total		1.112,47

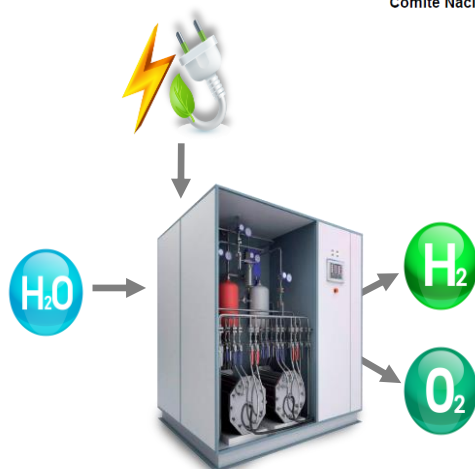
Situación Energética Actual

Esquema de instalación de electrolizadores.

Utilización de los excedentes
hidroenergéticos para la
producción de hidrógeno verde en
Paraguay.



Comité Nacional Paraguayo

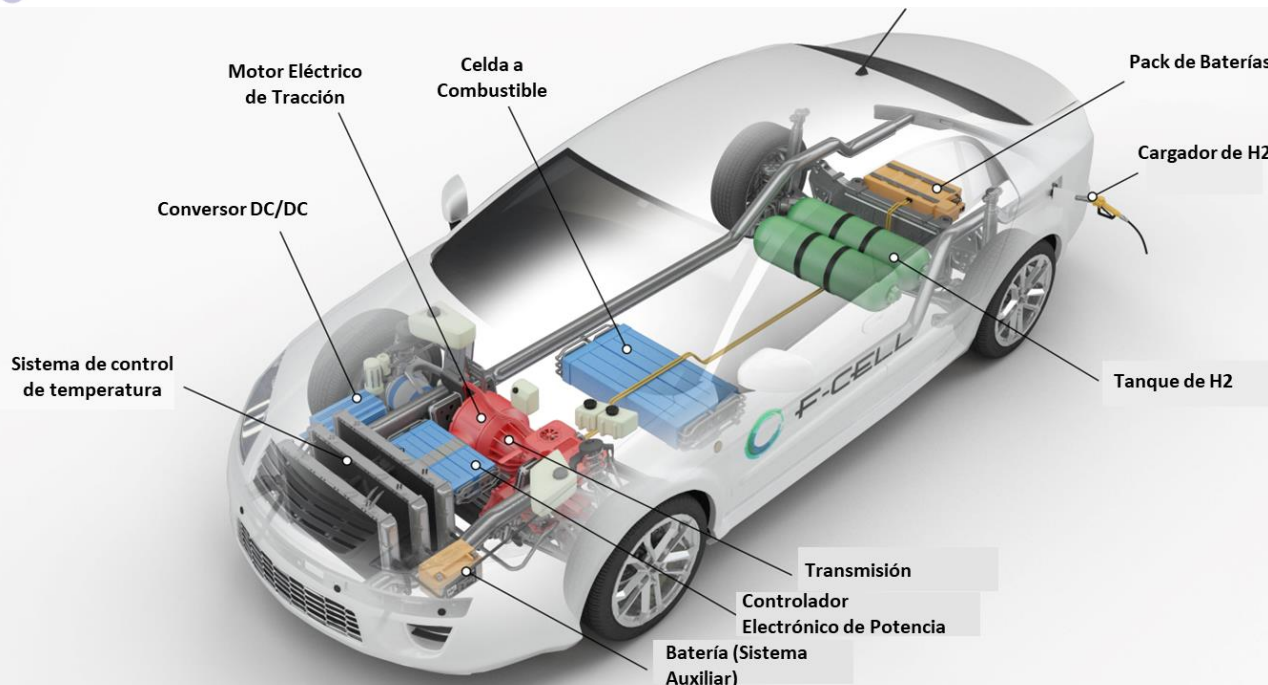


Año	Potencia instalada [MW]	Energía Consumida por año [GWh]	Producción de Hidrógeno [t/año]
2.023	20	175	3.818
2.025	200	1.752	38.185
2.030	700	6.132	133.646
2.035	1.000	8.760	190.923

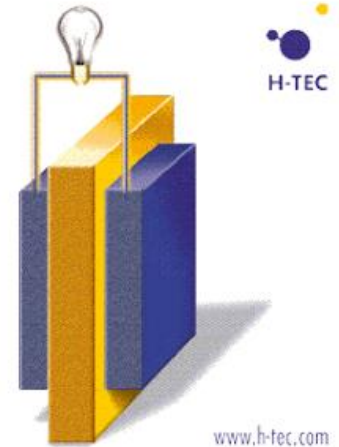
Se simuló la utilización de Electrolizador Alcalino del TIPO AEL con el costo promedio de instalación de **1.310 U\$D/MW** de capacidad. Con este valor de instalación, el costo de producción del Hidrógeno Verde entre **2.4 – 2.8 U\$D/kg**

DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Movilidad eléctrica a Hidrógeno



Fuente: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>

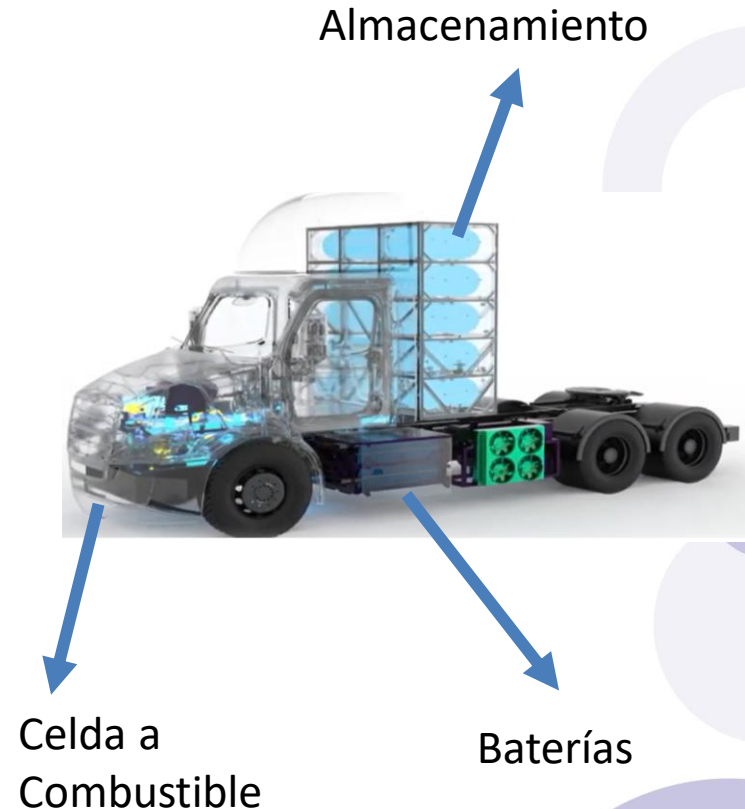


Selección del camión de referencia:

Fabricante	Hyzon
Potencia del motor	302 kW (continuo), 450 kW (pico)
Tren de potencia	700 V
Velocidad máxima	88,5 km/h
Cantidad de hidrógeno a bordo	50-70 kg
Presión de almacenamiento	350 bar
Autonomía típica	604 – 805 km

Estimación de Demanda de H₂:

$$Demanda\ de\ H_2 = \frac{612km}{11,7 \frac{km}{kgH_2}} = 52,31\ kg;$$



DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Posibles Rutas

Definición de escenarios:

Escenario A

Centralizado: Una estación de reabastecimiento con capacidad de atender a 100 camiones diarios.

Escenario B

Descentralizado: 4 estaciones de reabastecimiento para atender 25 camiones diarios.

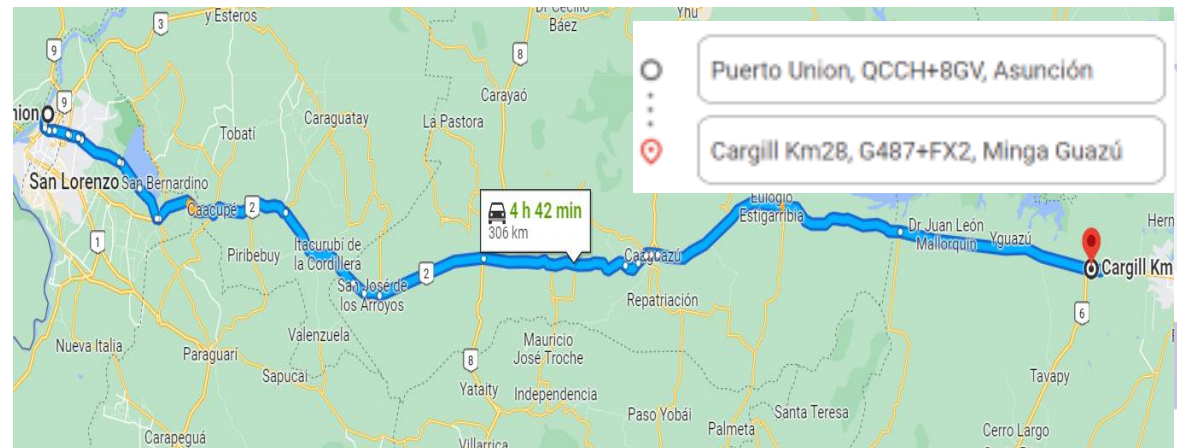
Definición del trayecto:

Punto de partida: Minga Guazú;

Punto de llegada: Puerto unión, Asunción.

Recorrido ida: 306 km;

Recorrido ida y vuelta: 612 km.



DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Posibles Rutas

Escenario A

Número de estaciones	1
Número de camiones diarios	100
Demanda diaria	5.231 kg de H2
Potencia de la Planta	14 MW

Inversión necesaria

Electrolizador (USD)	14.047.066
Compresor (USD)	1.768.240
Almacenamiento (USD)	12.072.615
Total (USD)	27.887.921

Escenario B

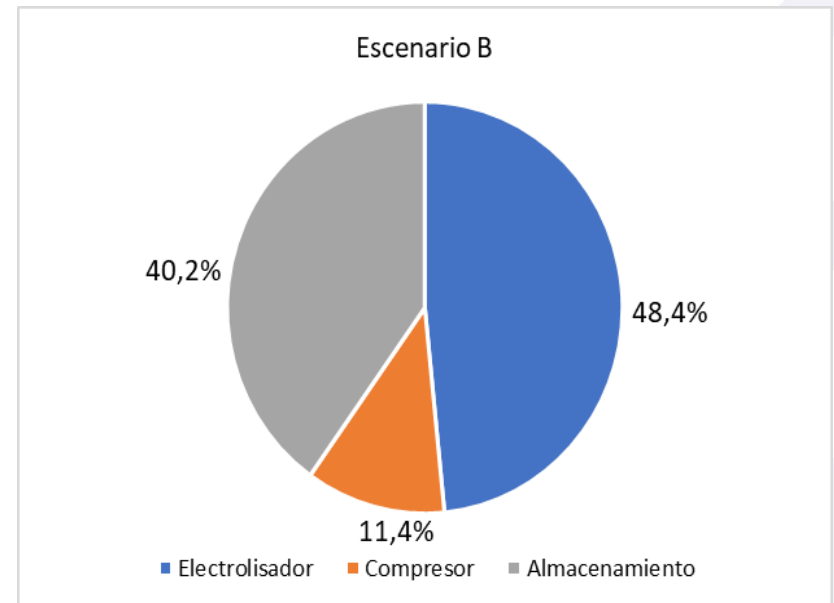
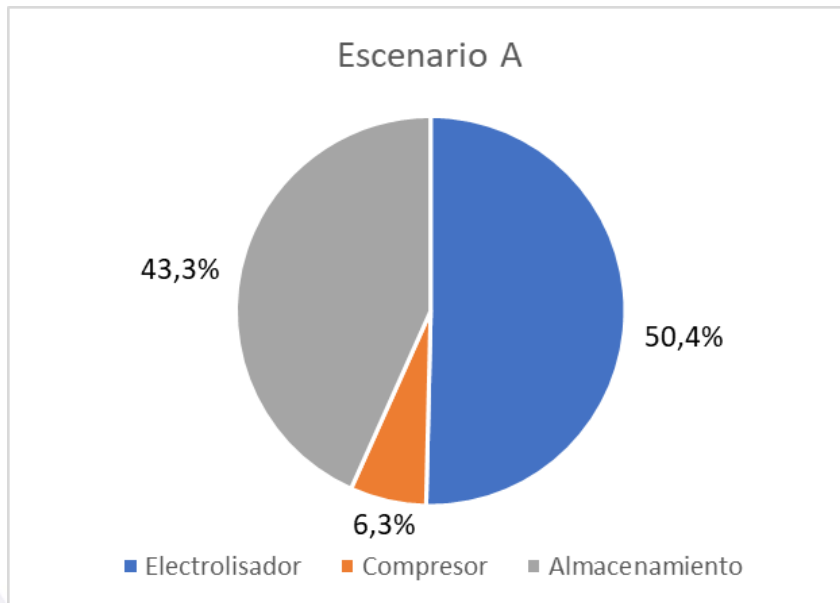
Número de estaciones	4
Número de camiones diarios	25
Demanda diaria	1.308 kg de H2
Potencia de la Planta	3.5 MW

Inversión necesaria

Electrolizador (USD)	14.558.533
Compresor (USD)	3.439.774
Almacenamiento (USD)	12.072.615
Total (USD)	30.070.992

DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Distribución porcentual del costo de inversión



Comparación con el consumo, costo y emisiones evitadas del Diesel

Consumo de combustible por camión (Litros)	Costo del Diesel por recorrido (USD)	Consumo de combustible por 100 camiones (Litros)	Costo del Diesel por 100 camiones (USD)
340	398	34.000	39.780

El costo operacional estimado de la flota de 100 camiones representa un gasto anual de **14.519.700 USD**;

Consumo Diesel 100 camiones (Litros)	Emisiones GEI (ton)	Emisiones PM2.5 (ton)	Emisiones NOx (ton)	Emisiones SOx (ton)
34.000	59,15	10,60	11,54	2,31

La mitigación anual de gases de efecto estufa seria aproximadamente **21.600 toneladas**.

Suposiciones asumidas:

Consumo de combustible: 54,8 L/100km;
Costo del Diesel: 1,17 USD/L.

Hidrógeno en el transporte fluvial

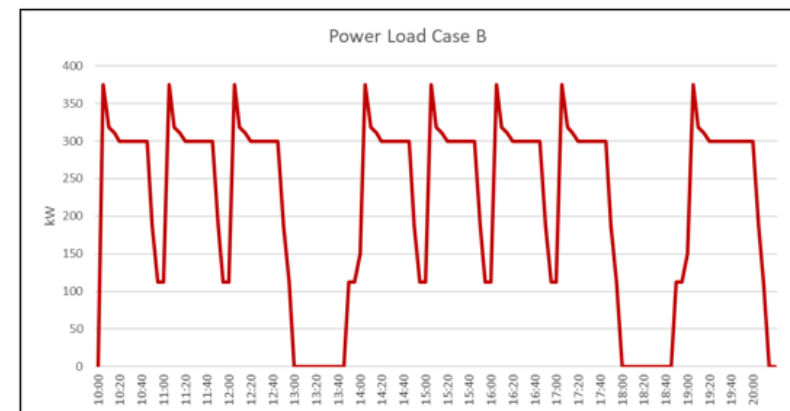
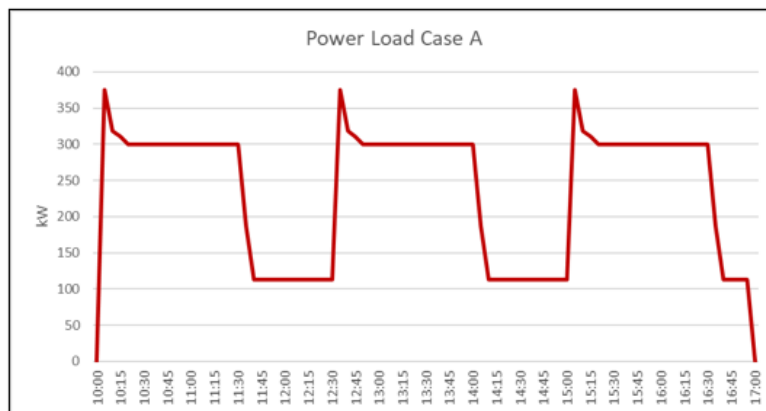


Presentado en Hypothesis, 2019



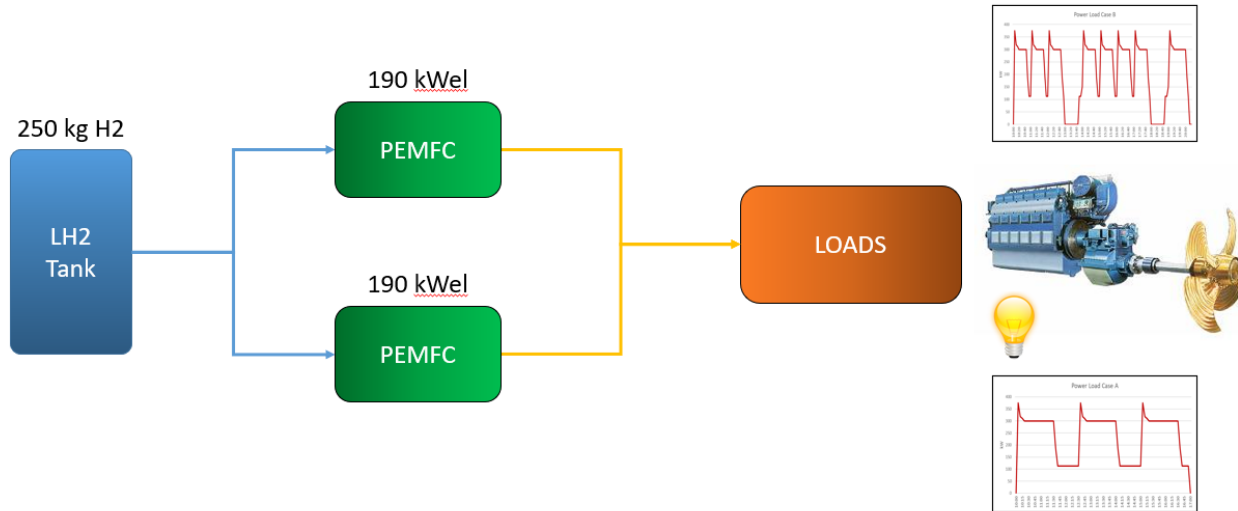
**Università
di Genova**

- **Case A:** the catamaran operates three cruises per day, each tour has a duration of 90 minutes.
- **Case B:** the catamaran operates eight cruises per day, each tour has a duration of 45 minutes.



DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA E DE TRANSPORTE PARA A TRÍPLICE FRONTEIRA, NO PARANÁ

Distribución porcentual del costo de inversión



A	Daily Fuel Consumption [kg]	Power Gen [kWh]	Daily Fuel cost [USD]	NOx Emissions [kg]	CO2 Emissions [kg]	System Efficiency
ICE	639,5	2255	261,6	38,3	1991,4	33%
Fuel cell	144,3	2321	393,8	-	-	48%
B	Daily Fuel Consumption [kg]	Power Gen [kWh]	Daily Fuel cost [USD]	NOx Emissions [kg]	CO2 Emissions [kg]	System Efficiency
ICE	487,1	1667	199,2	28,3	1516,8	32%
Fuel cell	102,7	1670	280,2	-	-	49%

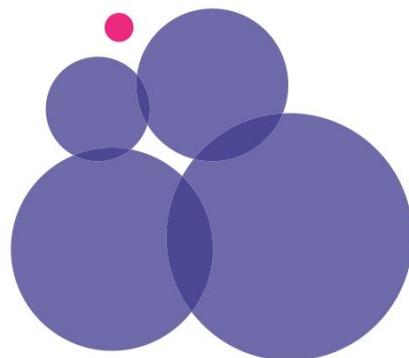
Rodovia do hidrogênio Brasil - Paraguai: estudo técnico, econômico e ambiental

- ✓ Tesis de doctorado presentado en la UNICAMP, 2013.
- ✓ Simulación del uso de ómnibus a hidrógeno para el transporte de pasajeros entre Asunción y Sao Paulo.
- ✓ Paraguay debido al menor costo de la electricidad presenta un potencial competitivo muy interesante para la producción/exportación de hidrógeno verde.
- ✓ El principal costo de las instalaciones se debe al sistema de producción/almacenamiento.



Finalmente...

- ✓ La sostenibilidad del transporte implica contar con un suministro seguro y permanente de combustible para mover los vehículos, con el menor riesgo posible para el medio ambiente y asegurando la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras.
- ✓ Aparece así el hidrógeno, un vector de energía que puede ser producido localmente, mediante la electrólisis del agua, con agua y electricidad como insumos necesarios.
- ✓ Aún llevará tiempo un uso intensivo del hidrógeno pero los factores actuales están propiciando cada vez más su introducción en la matriz energética.
- ✓ La triple frontera debido a la localización privilegiada presenta un enorme potencial para conformar un Hub para la tecnología del hidrógeno.



INSTITUTO
BESC
HUMANIDADES
E ECONOMIA

**Av. Uruguai, 250 - sala 201 - Sion
Belo Horizonte - MG - 30310-300
contato@institutobesc.org
Telefone: (31) 2104-0999**

Gustavo Riveros
gustavo.riveros@pti.org.py