Factibilidad del desarrollo de un corredor de hidrógeno para transporte de carga de larga distancia en Argentina

Trabajo ganador del premio "Pre Ingeniería 2022" - CAI



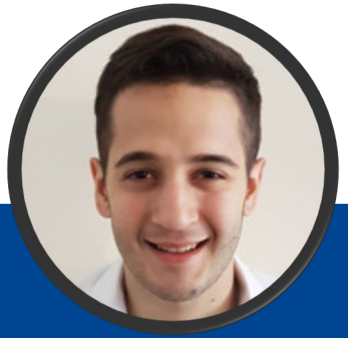
20 de abril 2023

Autores



Alonso, Santiago

Ing. Industrial UBA (2023)
Emprendedor
Mar Salvaje



Ing. Peón Martínez, Juan I.

Ingeniero Industrial UBA
Project Manager
Proyectos en Medifé



Ing. Priano, Patricio

Ingeniero Industrial UBA
Especialista en Movilidad Sostenible
Control de Gestión en Edenor

Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



2015

Firma del Acuerdo de París

Compromiso por parte de los estados firmantes en la descarbonización del planeta logrando un techo de 1,5°C.

2016

Argentina ratifica el acuerdo (Ley 27.270)

Necesidad de tecnologías 100% sustentables para cumplir con el compromiso. Meta para el 2030: 483 $MtCO_2eq/año$.

2018

Vector Movilidad Eléctrica FIUBA

Promulgador del avance de las tecnologías sustentables a nivel nacional.

2021

Comienzo del trabajo

En enero del 2021 el Vector de Movilidad Eléctrica de FIUBA nos proporciona el tema de estudio convirtiéndonos en el primer trabajo que estudia el H_2 como combustible en FIUBA.

2022

Tribunal de FIUBA

En junio del 2022 se realizó la presentación final del proyecto ante el tribunal de trabajo profesional de la FIUBA.

2022

Premio Pre Ingeniería del CAI

En noviembre del 2022 se presentó el trabajo en el CAI obteniendo el 1° puesto.

2023

Consorcio de H_2

En abril del 2023 se realizó la presentación del trabajo ante miembros del consejo de H_2Ar.

Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



Objetivos del trabajo

Analizar la **viabilidad** del desarrollo de un nuevo **corredor de hidrógeno** en Argentina para el uso en el transporte de carga de larga distancia, siendo nuestros principales **objetivos** :

- Establecer su ubicación.
- Determinar su tamaño y capacidad.
- Indicar su viabilidad económica.



- Impactar en la disminución de la emisión de GEI a Nivel Nacional.

Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



El ciclo del Hidrógeno

AGUA
Ríos
Agua subterránea
Océanos
Atmósfera

+

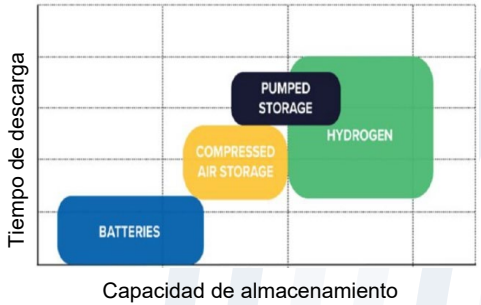
ENERGÍA PRIMARIA
- Solar
- Eólica
- Gas Natural

=

H_2

VECTOR ENERGÉTICO

- Transporte
- Generación eléctrica
- Industrias
  - *Petroquímicas*
  - *Químicas*
  - *Alimentos*
- Viviendas



Fuente: https://solar -media.s3.amazonaws.com/

El hidrógeno en el transporte

camión)
(auto convencional)





Fuente: Freudenberg Sealing Technologies

Ventajas del camión de Hidrógeno sobre el de Batería

El último récord: un camión eléctrico recorre 1.100 kilómetros sin recargar

La tentativa se realizó en circuito y a una media de 50 km/h. El modelo lleva la batería más grande de Europa en vehículos de transporte pesado: 680 kWh.

MARCOS BAEZA

31 AGO 2021

El tercero y último es que el camión iba vacío, reduciendo de esta forma



Argentina

10 de mar 2023



Según Scania "hay más chances" de incorporar camiones a hidrógeno que eléctricos en Argentina

Los gasoductos y la infraestructura existente podrían utilizarse para transportar hidrógeno y alimentar vehículos de carga. En efecto, hoy es más factible realizar proyectos con...

Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



Objetivos del Estudio de Mercado

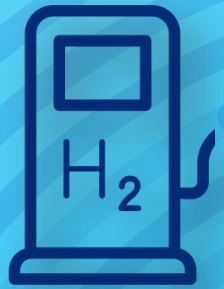
Definir el corredor en Argentina :



Identificar rutas nacionales incorporadas



Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras



Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

Objetivos del Estudio de Mercado



Identificar rutas nacionales incorporadas



Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras



Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno.
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** .
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.

- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

Objetivos del Estudio de Mercado

Identificar rutas nacionales incorporadas

Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno.
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible**.
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.

- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

Producción de hidrógeno en el mundo

55 MTn de H_2 de las cuales el **96% son de fuentes no renovables**

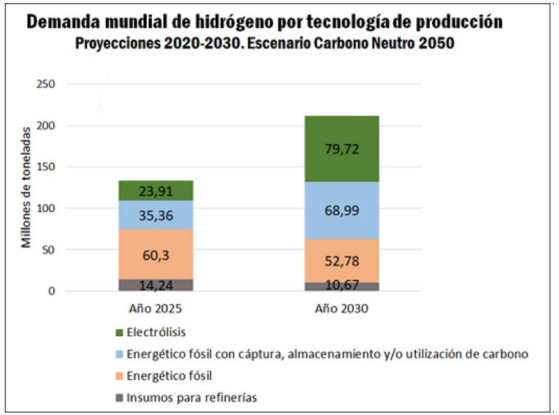
(fines de 2021).

H_2 utilizado para la movilidad eléctrica: el **99% son de fuentes no renovables.**

Se estima: **550 MTn** de demanda de H_2 para **2050.**

Necesidad de **crecimiento de la producción de H_2 bajo en carbono.**

Aumentar la producción de **hidrógeno verde: del 4% a 20% aproximadamente para 2025.**



Fuente: Bolsa de Comercio Rosario

Impacta directamente en el H_2 utilizado para la **movilidad eléctrica.**

China: Líder en producción de Hidrógeno Gris y Verde

- Producción de fines de 2021 era de **33 MTn** por año de H_2 **(60 % de la producción mundial).** Más del **99%** son de fuentes **no renovables** .

- Las **2 empresas** líderes de producción del país tienen los **2 proyectos de H_2 verde más grandes del mundo.**

EN FUNCIONAMIENTO

Planta BAOFENG

Electrolizador de 150 MW

Parque solar 200 MW

Producción anual de 16.000 Tn

PROXIMAMENTE 2023

Planta SINOPEC

Electrolizador de 260 MW

Parque solar 300 MW

Producción anual de 20.000 Tn

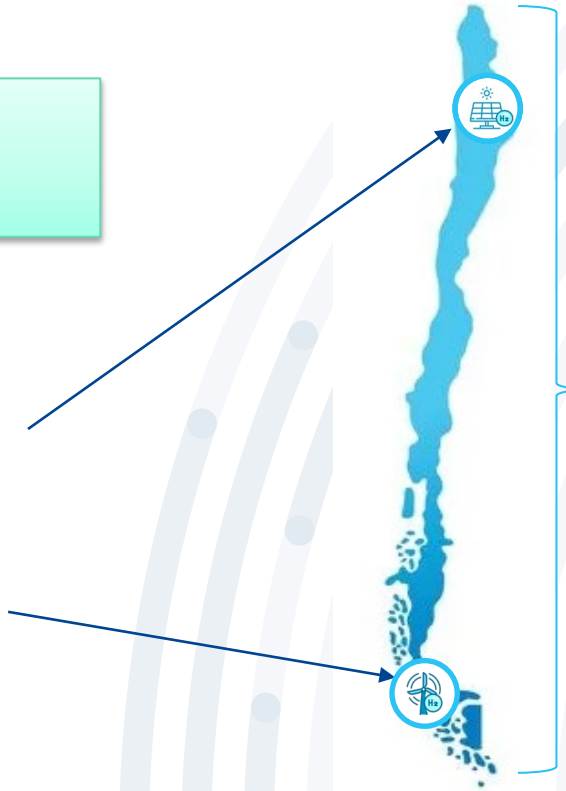
Chile: Máximo propulsor de producción de Hidrógeno Verde en LATAM

Estrategia de producción de H_2 verde para 2030:

Máximo exportador de H_2 verde del mundo.

2 mega proyectos de hidrógeno verde .

- En Antofagasta: utilizará **energía solar para potenciar electrolizadores de 1,6 GW por año** .
- En la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena: utilizará **energía eólica para generar hidrógeno verde.**



200.000 Tn
de H_2 verde por año

Objetivos del Estudio de Mercado

Identificar rutas nacionales incorporadas

Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno. ✅
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible**.
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.

- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

El desarrollo del Hidrógeno como combustible en el mundo

Variables a tener en cuenta:

- **Uso de la tecnología.**
- **Desarrollo, investigación, producción y comercialización de esta tecnología.**

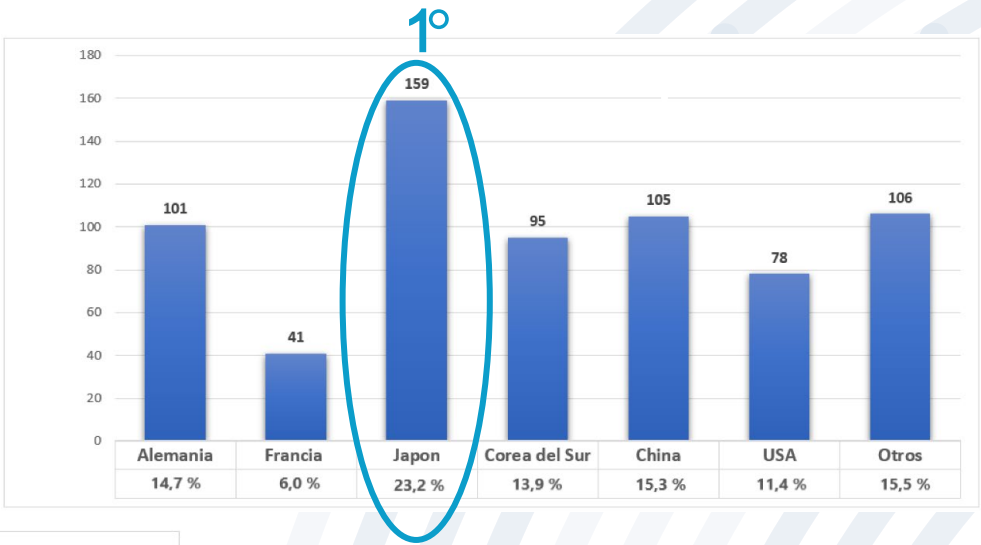


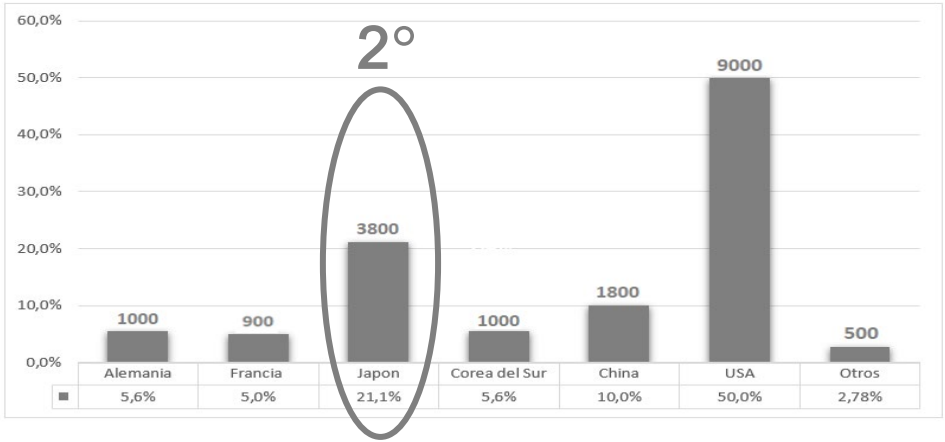
Uso de la tecnología

Cantidad de Hidrogeneras e Hidrolineras



(685 en el mundo)
Junio 2022





Cantidad de FCEV



Japón: Líder en uso de la Tecnología

- Gran red de hidrogeneras e hidrolineras (**159: 1° en el mundo**).
- **Hidrogeneras e hidrolineras ubicadas** sobre **rutas principales** cubriendo el **radio de autonomía.**
- **Acumulación** de hidrogeneras e hidrolineras **en ciudades principales** o donde se encuentran empresas automotrices que desarrollan el uso de hidrógeno (**Toyota y Honda** : **líderes en producción** y **comercialización** de vehículos a base de hidrógeno).
- **500** unidades del Mirai y **100** autobuses eléctricos de pila de combustible son utilizados en la Villa Olímpica de **Tokio 2020** .

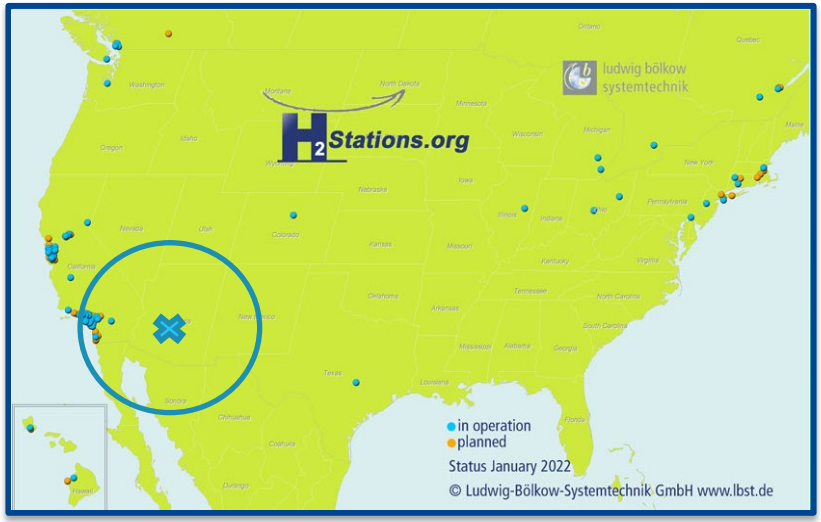


Hidrogeneras en funcionamiento.
Hidrogeneras en construcción.





USA: un caso particular



Hidrogeneras en funcionamiento.
Hidrogeneras en construcción.

- Gran cantidad de hidrogeneras (**78, 60 en California**).
- **Acumulación de hidrogeneras en el estado de California** debido a que se **fomenta el uso de vehículos sustentables exceptuándolos de impuestos** . Se realizan grandes inversiones destinadas al desarrollo sustentable.
- **No se cubre el radio de autonomía** , lo que complica el tránsito libre de vehículos de hidrógeno por el país (no es una red de hidrogeneras).
- Autos a base de hidrógenos **importados** .

Desarrollo, investigación, producción y comercialización de esta tecnología

Alemania











Japón







Francia



Inglaterra



USA







Corea del Sur



Desarrollo, investigación, producción y comercialización de esta tecnología

Alemania











Japón







Francia



Inglaterra



USA







Corea del Sur



En producción y comercialización

En investigación y desarrollo

Corea del Sur: Líder en producción y comercialización

- Gran crecimiento de la marca Hyundai en los últimos años . Junto a Toyota, **líderes en comercialización y producción** de vehículos a hidrógeno.
- Hyundai apunta a fabricar en masa alrededor de **500.000 vehículos de este tipo para 2030** .
- **Única** marca que comercializa **camiones de carga a base de Hidrógeno** (en continente Europeo y en 2023 se expandirá en América del Norte).



Objetivos del Estudio de Mercado

Identificar rutas nacionales incorporadas

Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno. ✓
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** . ✓
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.

- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

Desarrollo de camiones de carga a base de hidrógeno en el mundo

En la actualidad hay un solo modelo de camión de carga en el mundo:



HYUNDAI XCIENT FCEV

400 km de autonomía

31 kg de H_2 de tanque

47 camiones en Suiza y 27 en Alemania en 2022

1.000 camiones a Estados Unidos para fines del 2023.

1.600 camiones a Suiza para el 2025.

El futuro de los camiones de Hidrógeno

HYUNDAI HDC-6 NEPTUNE



NIKOLA TWO FCEV SLEEPER



Nueva celda de combustible con **autonomía de 1.000 km como mínimo** (Aproximadamente 2028)



NIKOLA TRE FCEV CABOVER



MERCEDES-BENZ GENH2

Objetivos del Estudio de Mercado

Identificar rutas nacionales incorporadas

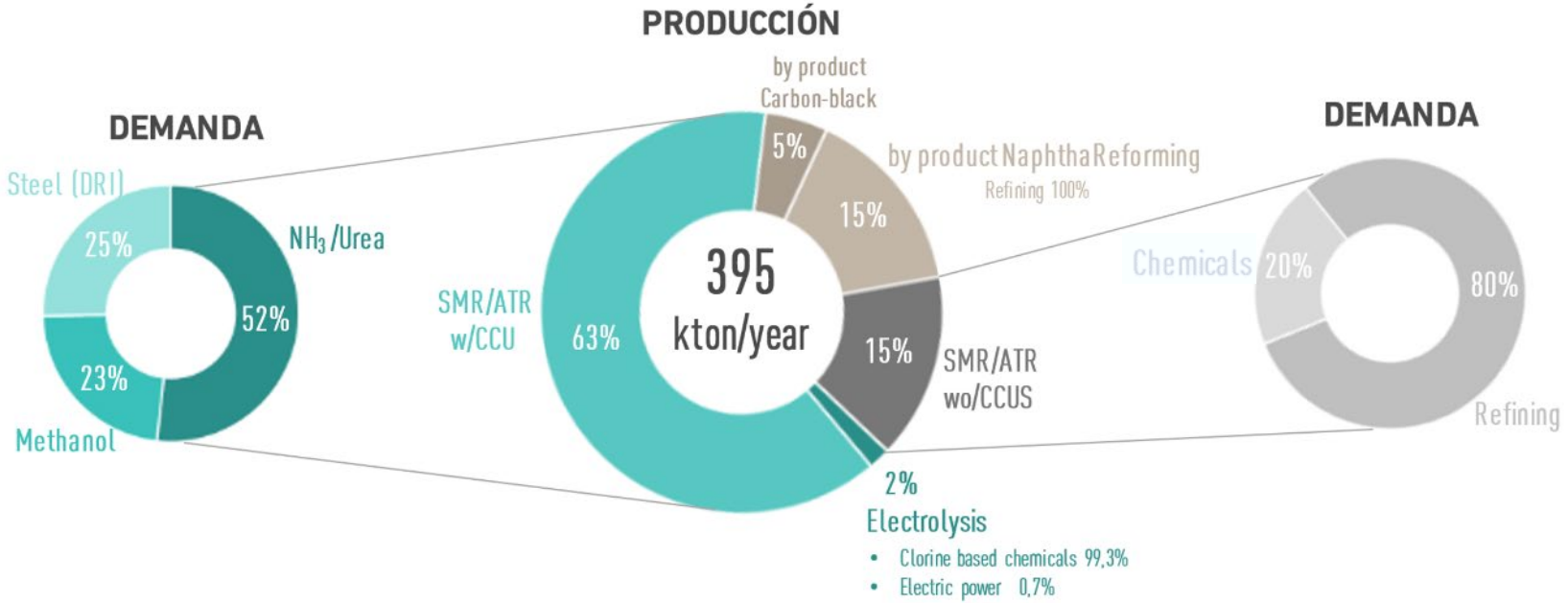
Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno. ✓
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** . ✓
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno. ✓
- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

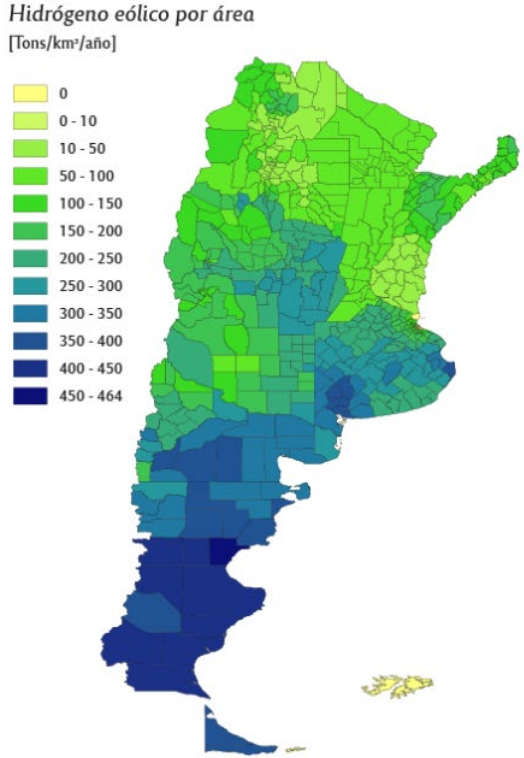
El hidrógeno en Argentina

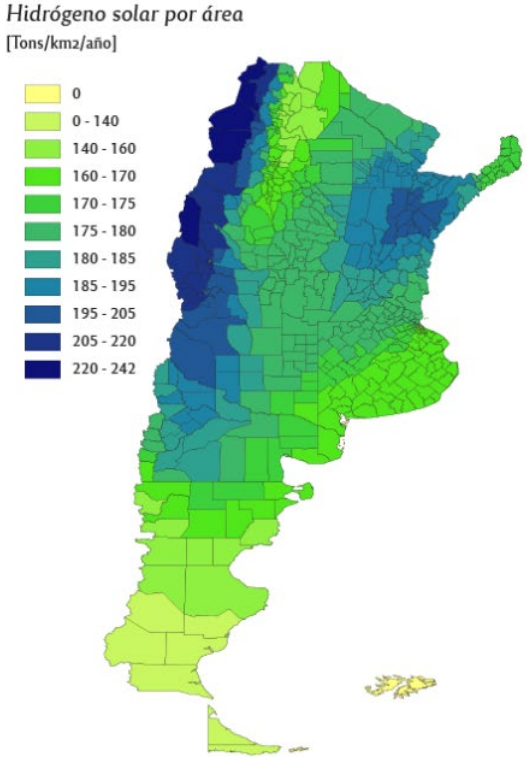


Argentina representa aproximadamente 0,34% de la producción global.

Fuente: Y -Tec

El potencial de Argentina





Fuente: Unciencia

Energía Eólica

Factores de planta del **60%** (la capacidad promedio mundial es del 20% - 40%).

Energía Solar

Valores de **irradiación de las más grandes del mundo** (20% más alta que el promedio global).

Objetivos del Estudio de Mercado

Identificar rutas nacionales incorporadas

Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

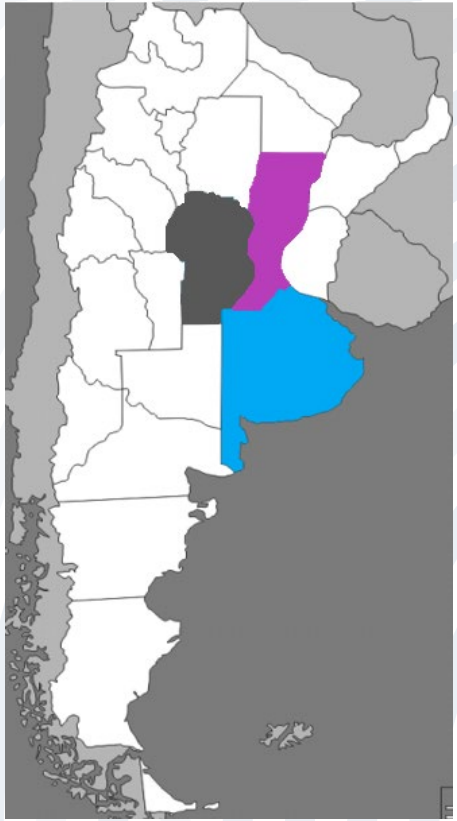
¿Cómo lo logramos?

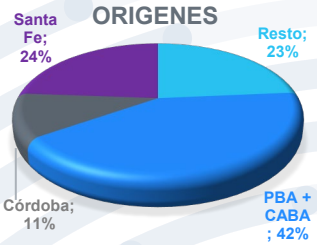
- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno. ✓
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** . ✓
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno. ✓
- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno. ✓
  - Mercado de los **transportes de carga.**

Transporte de carga en Argentina

Rutas principales y lógica de carga y descarga

- Ruta a Ushuaia (RN. 3)
- Ruta a Neuquén (RN. 33)
- Ruta a Chile por Mendoza (RN. 158)
- Ruta a Chile por San Juan (RN. 19)
- Ruta a Bolivia (RN. 9 y 34)
- Ruta a Paraguay (RN. 11)
- Rutas a Brasil (RN. 12 y RN. 14)
- Ruta a Uruguay (RN. 18)







Tipos de camiones de carga

Los camiones más vendidos en Argentina en el 2021 son:

1° Iveco Tector 170 E



2° Mercedes- Benz Accelo 815



3° Volkswagen Constellation 17.280



Carga útil promedio = 11.800 kg/camión

(promedio calculado con los 14 camiones más vendidos en 2021)

Objetivos del Estudio de Mercado



Identificar rutas nacionales incorporadas

Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno.
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** .
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.
- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

Variables que se tienen en cuenta

TRÁNSITO DE RUTA

Se va a tener en cuenta la ***intensidad*** de tránsito de las rutas.

1°

2°

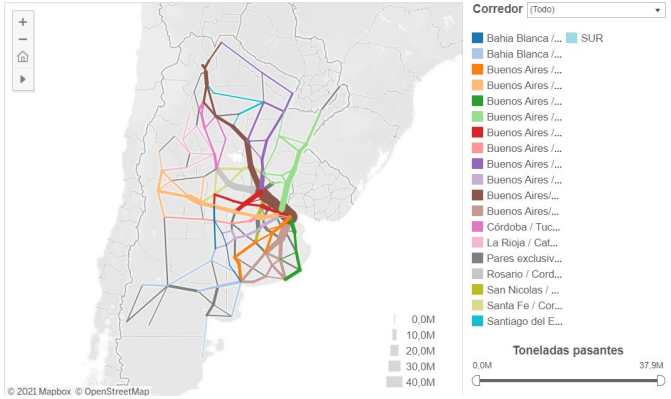
ORÍGENES Y DESTINOS PRINCIPALES

Se va a verificar que la ruta incluya las ciudades principales de ***lógica de carga y descarga***.

OBS: cuando se incluye una ruta al corredor no quiere decir que sea en su totalidad, puede ser un fragmento de la misma.

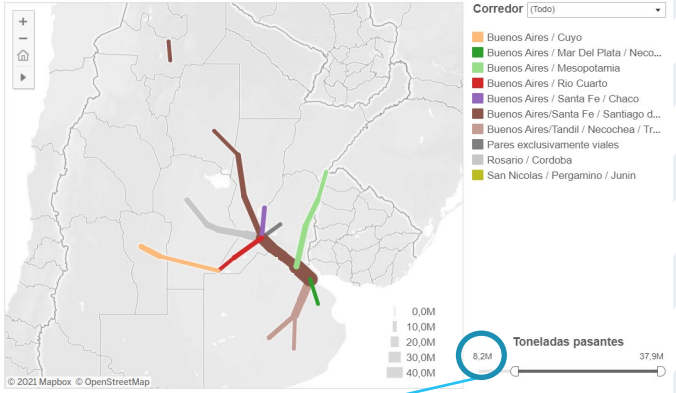
1º TRÁNSITO DE RUTA

Sin filtro de toneladas pasantes



Información del DNV (Dirección Nacional de Vialidad)

Con filtro de toneladas pasantes



Información del DNV (Dirección Nacional de Vialidad)



0 MTn pasantes anuales	8,2 MTn pasantes anuales	16,3 MTn pasantes anuales	24,5 MTn pasantes anuales
0 camiones diarios	1.868 camiones diarios	3.736 camiones diarios	5.600 camiones diarios

Pico sin tener en cuenta el corredor de CABA - Rosario

1° TRÁNSITO DE RUTA

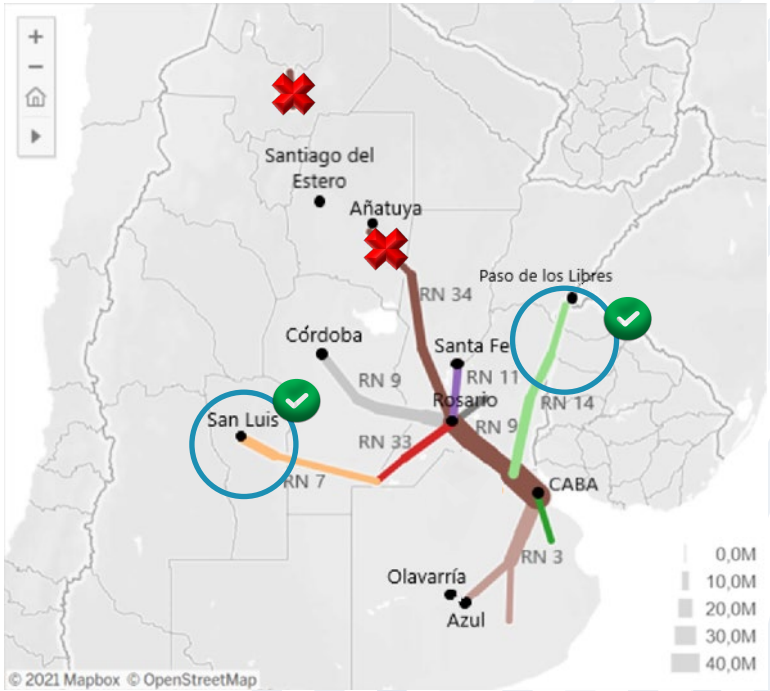


Distancia desde Rosario a:

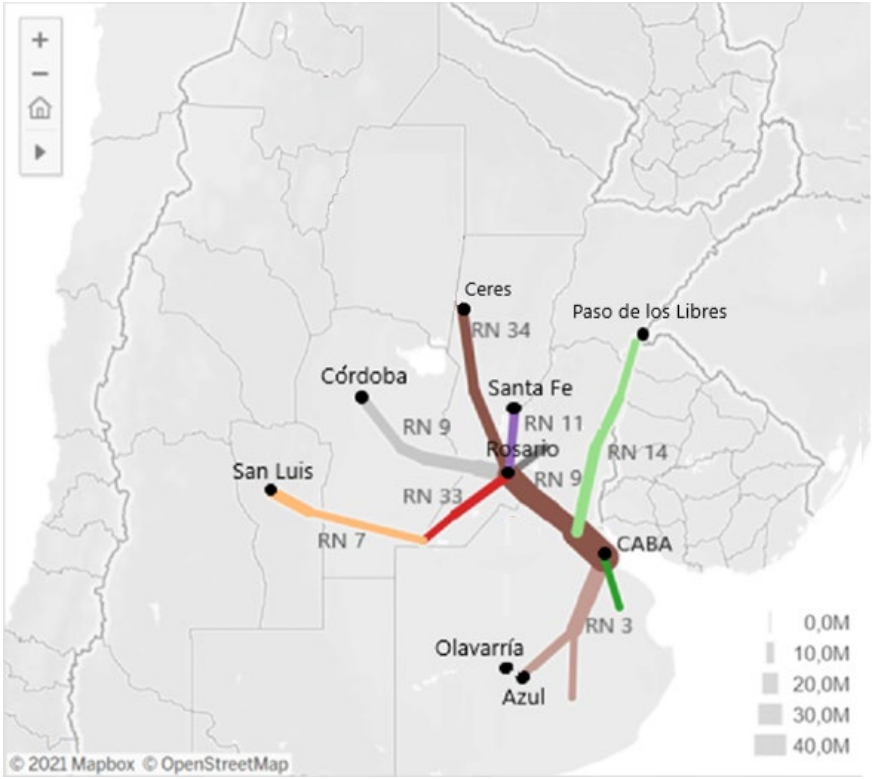
- Santa Fe → *173 km (RN 11)*
- CABA → *299 km (RN 9)*
- Córdoba → *401 km (RN 9)*
- Paso de los Libres → *578 km (RN 127)*
- Añatuya → *597 km (RN 34)*
- Azul → *602 km (RN 9 + RN 3)*
- San Luis → *625 km (RN 7 + RN 33)*

2° INCLUSIÓN DE ORÍGENES Y DESTINOS PRINCIPALES





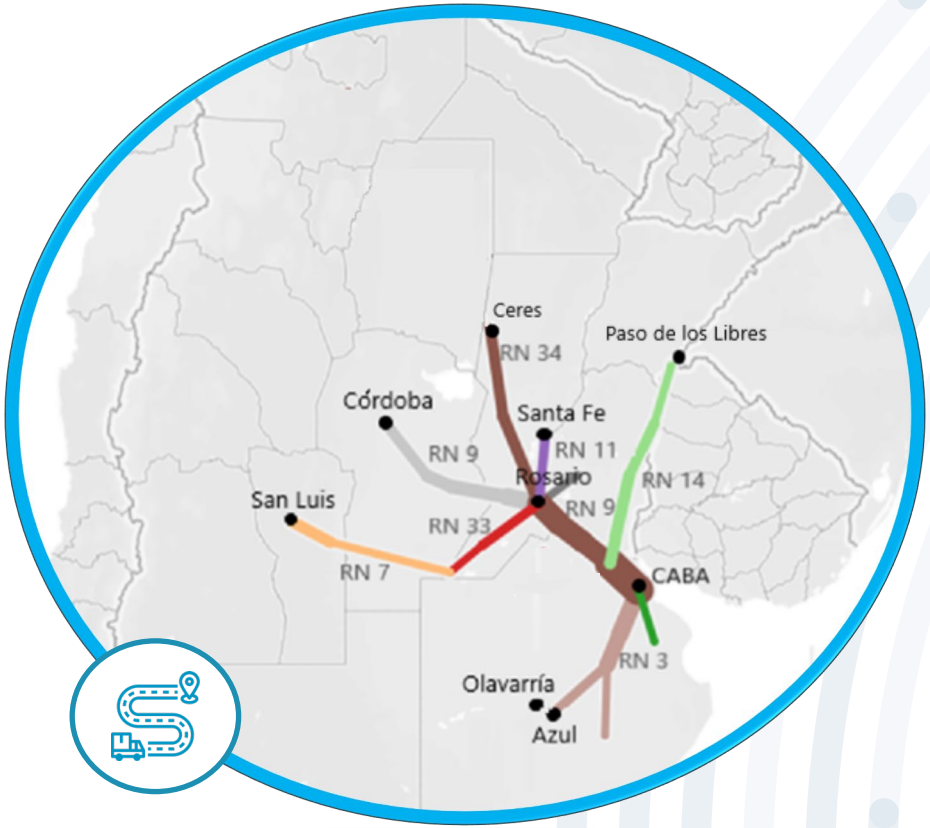
2° INCLUSIÓN DE ORÍGENES Y DESTINOS PRINCIPALES



Distancia desde Rosario a:

- Santa Fe → *173 km (RN 11)*
- CABA → *299 km (RN 9)*
- Ceres → *399 km (RN 34)*
- Córdoba → *401 km (RN 9)*
- Paso de los Libres → *578 km (RN 127)*
- Azul → *602 km (RN 9 + RN 3)*
- San Luis → *625 km (RN 7 + RN 33)*

Corredor seleccionado



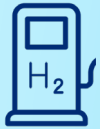
Objetivos del Estudio de Mercado



Identificar rutas nacionales incorporadas



Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras

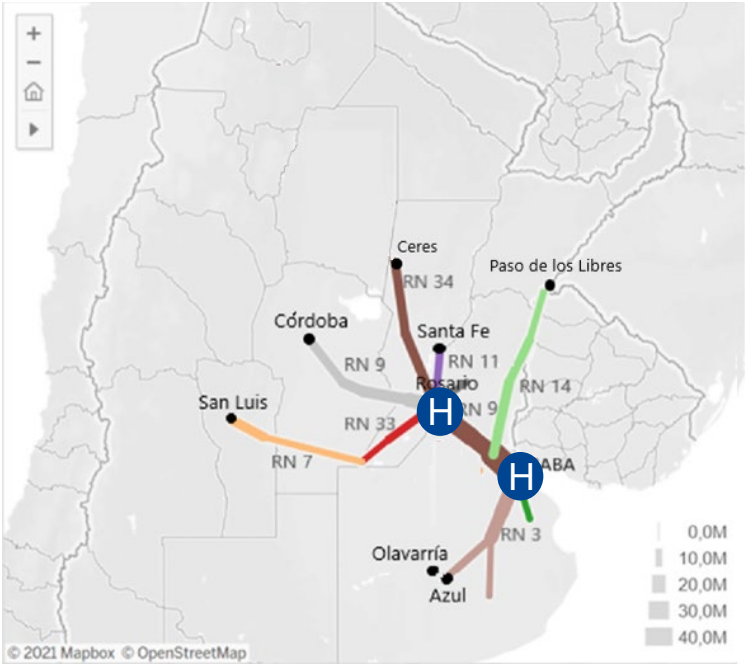


Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno.
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** .
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.
- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

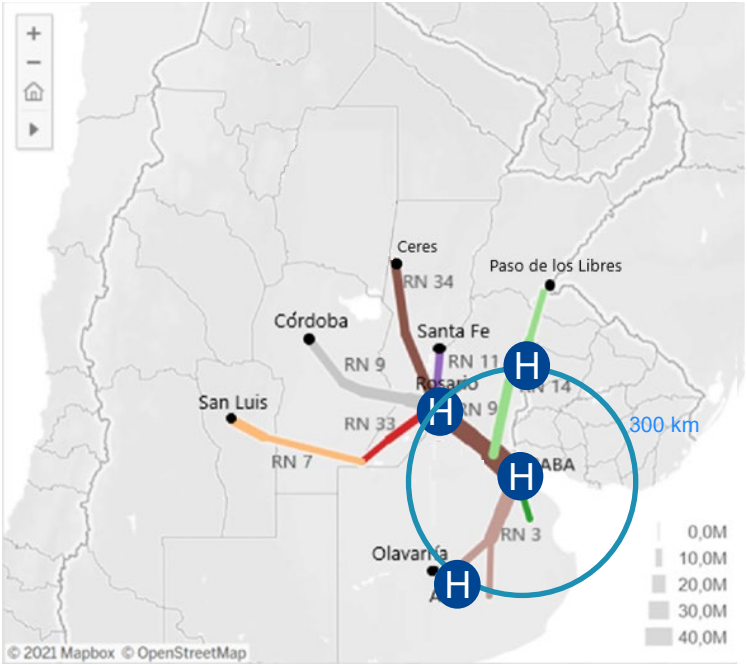
Ubicación y cantidad de hidrogeneras



1. Hidrogeneras principales: Rosario y CABA .

Ciudades con los picos de toneladas pasantes más altos.

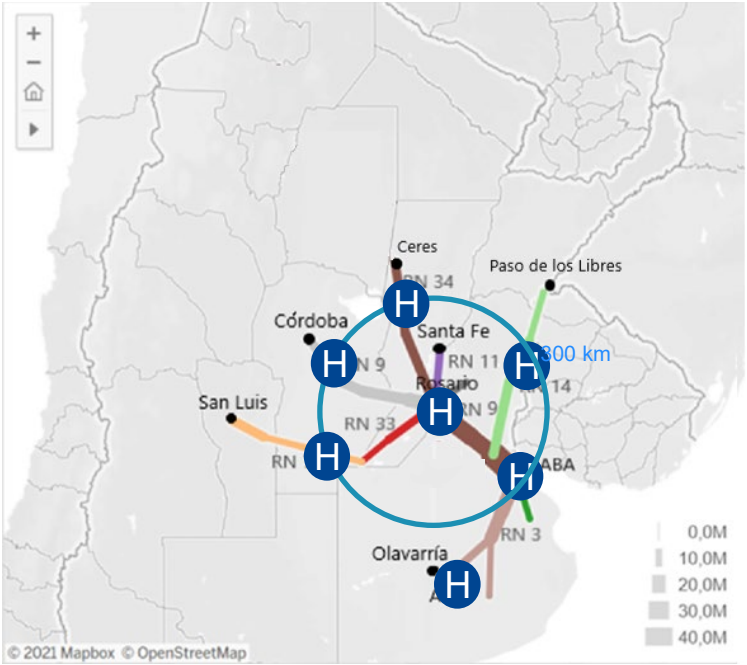
Ubicación y cantidad de hidrogeneras



1. Hidrogeneras principales: Rosario y CABA .

2. Autonomía camión a hidrógeno 400 km: 1 hidrogenera cada 300 km (Coef. Seg.:25%)

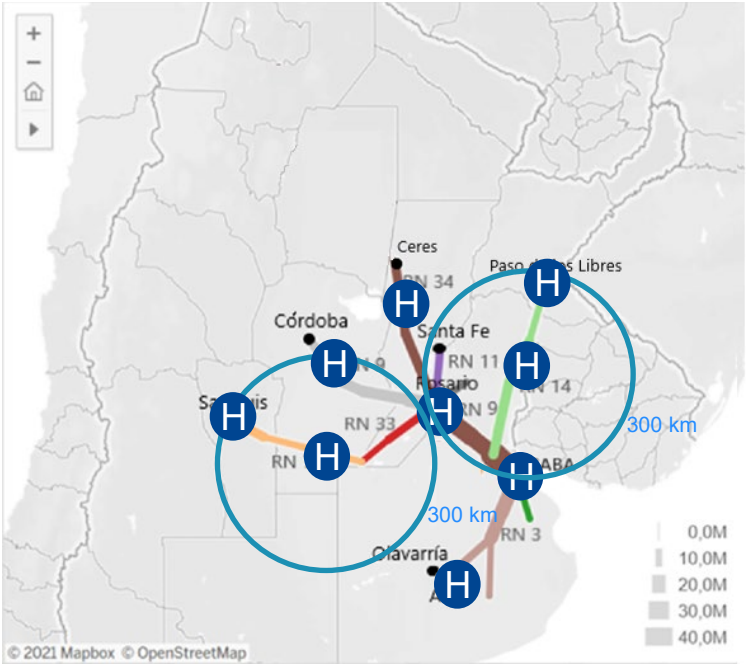
Ubicación y cantidad de hidrogeneras



1. Hidrogeneras principales: Rosario y CABA .

2. Autonomía camión a hidrógeno 400 km: 1 hidrogenera cada 300 km (Coef. Seg.:25%)

Ubicación y cantidad de hidrogeneras



1. Hidrogeneras principales: Rosario y CABA .

2. Autonomía camión a hidrógeno 400 km: 1 hidrogenera cada 300 km (Coef. Seg.:25%)

Ubicación y cantidad de hidrogeneras

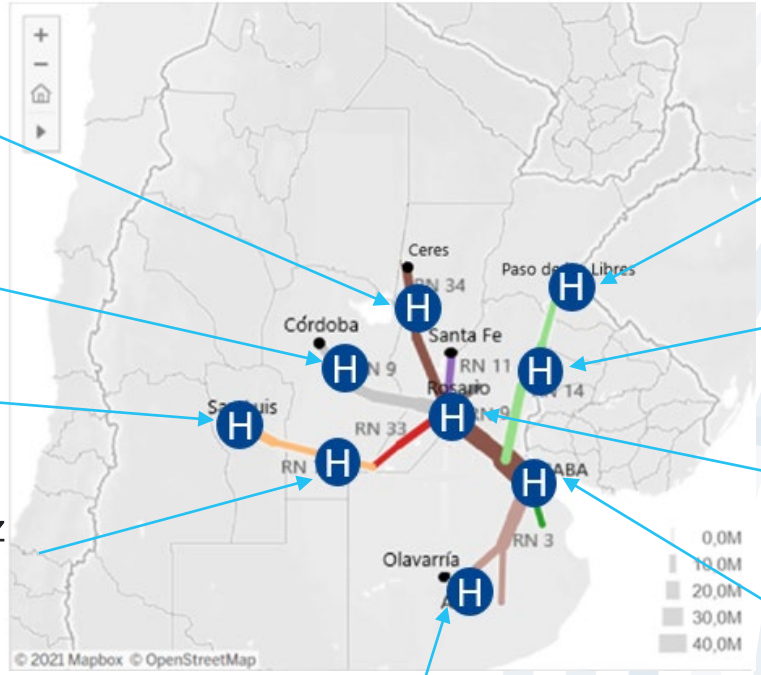
9 hidrogeneras

San Cristóbal, Santa Fe

Oliva, Córdoba

San Luis, San Luis

Presidente Roque Sáenz Peña, Córdoba



Monte Caseros, Corrientes

Concepción del Uruguay, Entre Ríos

Rosario, Santa Fe

CABA, Buenos Aires

Azul, Buenos Aires

Capacidad actual y futura del corredor

Datos históricos de dem[illegible] hidrógeno por camiones [illegible]

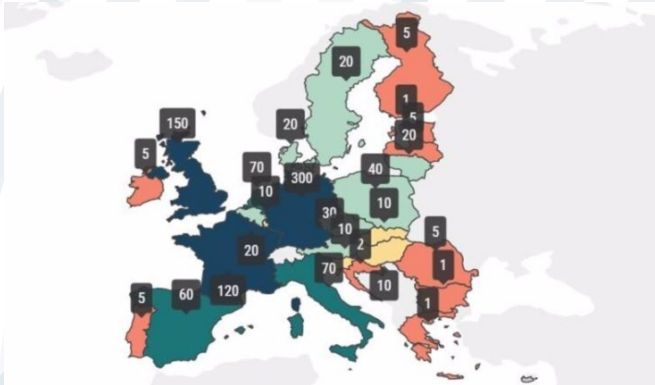
1. Hidrogenera más grande del mundo y proyecto de la Unión Europea.
2. Datos del corredor seleccionado.
3. Evolución en el tiempo de la cantidad de carga que se transporta en Argentina.
4. Ley de movilidad sustentable.
5. Vida útil de un camión de carga.

1 – Hidrogenera más grande del mundo y proyecto de la Unión Europea



En Shangai, China, se encuentra la hidrogenera más grande del mundo que puede abastecer a **100** camiones de hidrógeno por día.

La Unión Europea propone un proyecto de tener **60.000** camiones de hidrógeno para **2030** y menciona que como mínimo tiene que construir **1.000** hidrogeneras para poder abastecerlos.



Hipótesis 1: ***Máxima = 100 camiones de hidrógeno por día.***
Mínima = 60 camiones de hidrógeno por día.

2 - Datos del corredor seleccionado

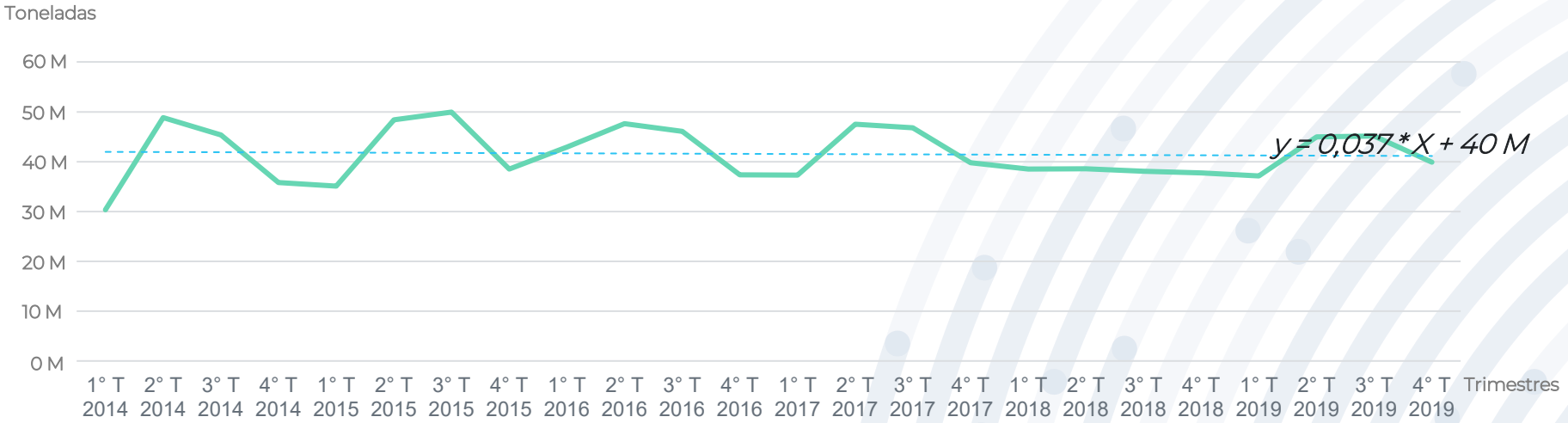
Ciudad	Provincia	Ruta	Pico de tn pasantes anuales	Pico de camiones diarios
CABA	Buenos Aires	RN 9	37,9 M	8.800
Rosario	Santa Fe	RN 9	28,9 M	6.710
San Luis	San Luis	RN 7	13,2 M	3.065
San Cristóbal	Santa Fe	RN 34	12,	2.925
Oliva	Cordoba	RN 9	12,5 M	2.902
Azul	Buenos Aires	RN 3	11,0 M	2.554
Concepción del Uruguay	Entre Rios	RN 14	8,7 M	2.020
Pte. Roque Sáenz Peña	Córdoba	RN 7	8,6 M	1.997
Monte Caseros	Corrientes	RN 14	6,9 M	1.602

CI: camión combustión interna
CH: camión a hidrógeno

Si **CI → CH** con autonomía de 400 km: Demanda futura a cubrir

Hipótesis 2: ***Conllevaría mucho riesgo realizar una inversión tan grande para solventar de una sola vez los picos de camiones diarios pasantes sin saber cómo evolucionaría la aceptación de la tecnología.***

3- Evolución en el tiempo de la cantidad de carga que se transporta en Argentina.



(fuente: Ministerio de Transporte)

Hipótesis 3: ***Cantidad de cargas que se transportan en Argentina son CTE en promedio.*** ⇨ ***Cantidad de viajes tienen un comportamiento CTE.***

4 - Ley de movilidad sustentable



El proyecto de ley menciona que a partir de **2040** no se podrían comercializar más vehículos a combustión interna en Argentina.

5 - Vida útil del camión

La vida útil de un camión en la industria del transporte es en promedio entre **8** y **10** años aproximadamente.



Hipótesis: 4

En 2050 no tendrían que transitar más camiones de combustión interna en el corredor ni en Argentina.

Resumen de hipótesis

1 – Con la tecnología actual, la hidrogenera más grande tiene una capacidad de ***100 camiones por día*** *y como mínimo, 1 hidrogenera tiene que suministrar* H_2 *a* ***60 camiones por día*** *.*

2 – Conlleva ***mucho riesgo*** *realizar una inversión tan grande para cubrir por completo los picos de camiones diarios pasantes* ***sin saber cómo evolucionaría la aceptación de la tecnología teniendo en cuenta otras alternativas como el biodiesel, eléctricos, entre otros.***

3 – La evolución del transporte de carga se mantiene ***constante*** *, por ende* ***no va a variar la cantidad de camiones*** *que transitan las rutas de Argentina.*

4 – En ***2050*** *no tendrían que transitar más camiones de combustión interna en el corredor ni en toda Argentina.*

Capacidad inicial del corredor

9

Hidrogeneras / hidrolineras

600 camiones/día

Capacidad inicial del corredor

1,84%

Camiones diarios del corredor

Ciudad	*Provincia*	*Capacidad de la hidrogenera [Camiones diarios]*
CABA	Buenos Aires	100 *(8.800)*
Rosario	Santa Fe	80 *(6.710)*
San Luis	San Luis	60 *(3.065)*
San Cristóbal	Santa Fe	60 *(2.925)*
Oliva	Cordoba	60 *(2.902)*
Azul	Buenos Aires	60 *(2.554)*
Concepción del Uruguay	Entre Rios	60 *(2.020)*
Pte. Roque Sáenz Peña	Córdoba	60 *(1.997)*
Monte Caseros	Corrientes	60 *(1.602)*

600 de 32.575

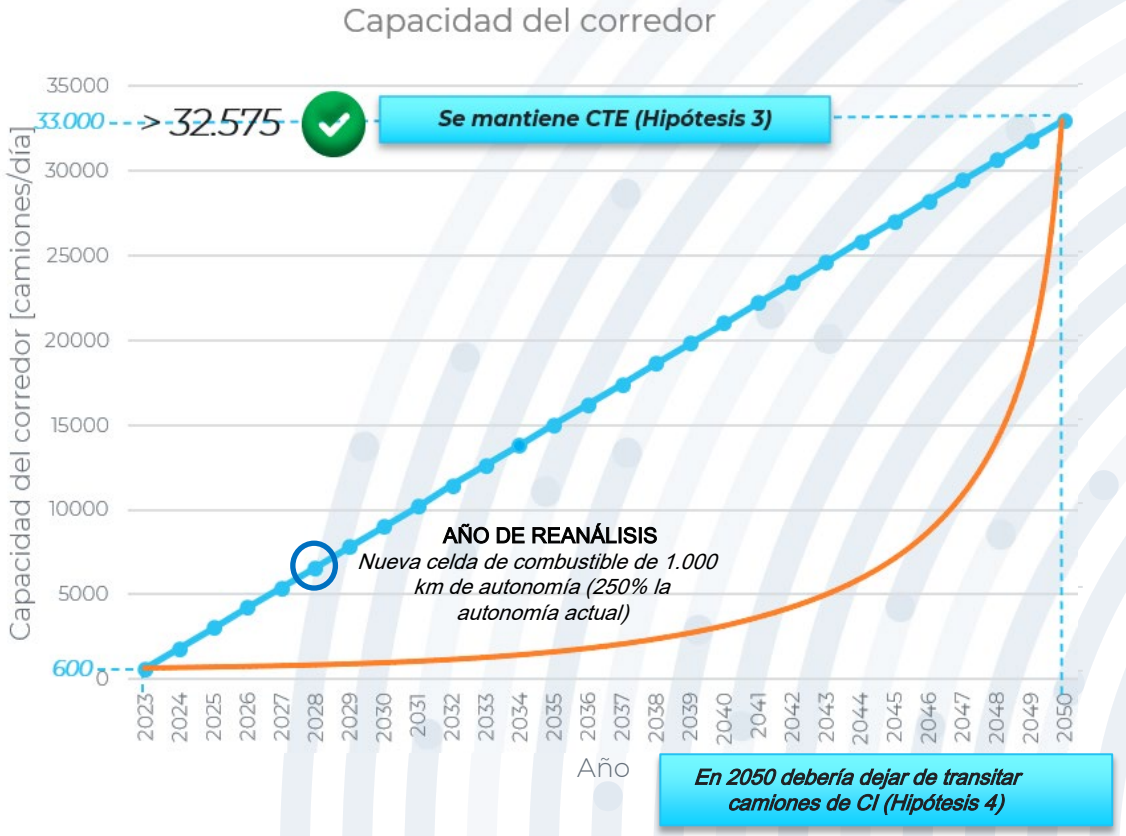
Máx Hidrogenera 100
Min Hidrogenera 60
(Hipótesis 1)

Mucho riesgo sin saber cómo será aceptada la tecnología
(Hipótesis 2)

Crecimiento y capacidad futura del corredor

Consideraciones para el escenario CI → CH:

- ✓ Gran potencial de producción de H_2 verde en el país.
- ✓ Potencial en el aumento de la autonomía del camión de H_2 (eficiencia de la celda de combustible).
- ✓ Contras en el aumento de autonomía de camiones eléctricos (robustez de la batería).



Objetivos del Estudio de Mercado



Dimensionar cantidad de hidrogeneras / hidrolineras



Determinar localización de hidrogeneras / hidrolineras



Identificar rutas nacionales incorporadas

¿Cómo lo logramos?

- Benchmarking del contexto Mundial:
  - **Producción** del hidrógeno.
  - Desarrollo del hidrógeno como **combustible** .
  - Desarrollo de los **camiones de carga** a base de hidrógeno.
- Analizar el contexto en Argentina del:
  - **Consumo** del hidrógeno.
  - Mercado de los **transportes de carga.**

Conclusiones del Estudio de Mercado



1- San Luis, San Luis.
2- Oliva, Córdoba.
3- Presidente Roque Sáenz Peña, Córdoba.
4- San Cristóbal, Santa Fe.
5- Rosario, Santa Fe.
6- Azul, Buenos Aires.
7- CABA, Buenos Aires.
8- Concepción del Uruguay, Entre Ríos.
9- Monte Caseros, Corrientes.



9 hidrogeneras ubicadas en **6** provincias diferentes (hidrógeno para **600 camiones/día**).



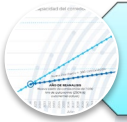
3.400 km cubiertos aproxidamadamente (representa el **10% de la red troncal** de rutas en Argentina).



5 capitales provinciales conectadas por el corredor.



Inclusión de cruce fronterizo: **internacionalización del corredor** .



Incremento de la capacidad del corredor en **1.200 camiones/día** por año.



En **2050** se cubrirá toda la demanda del corredor (hidrogeno para **33.000 camiones/día**).

Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



Objetivos del Estudio Técnico y Ambiental



Seleccionar el tipo de hidrógeno a suministrar



Dimensionar la producción de Hidrógeno



Dimensionar las hidrogeneras.

Objetivos del Estudio Técnico y Ambiental



Seleccionar el tipo de hidrógeno a suministrar



Dimensionar la producción de Hidrógeno



Dimensionar las hidrogeneras.

¿Cómo lo logramos?

- Análisis ambiental **comparando emisiones de CO_2** entre tipo de producción de hidrogeno y CI.
- Estudio de los **procesos productivos** y teniendo en cuenta las demandas estipuladas.
- Utilización de **teoría de colas** .

Objetivos del Estudio Técnico y Ambiental

Seleccionar el tipo de hidrógeno a suministrar

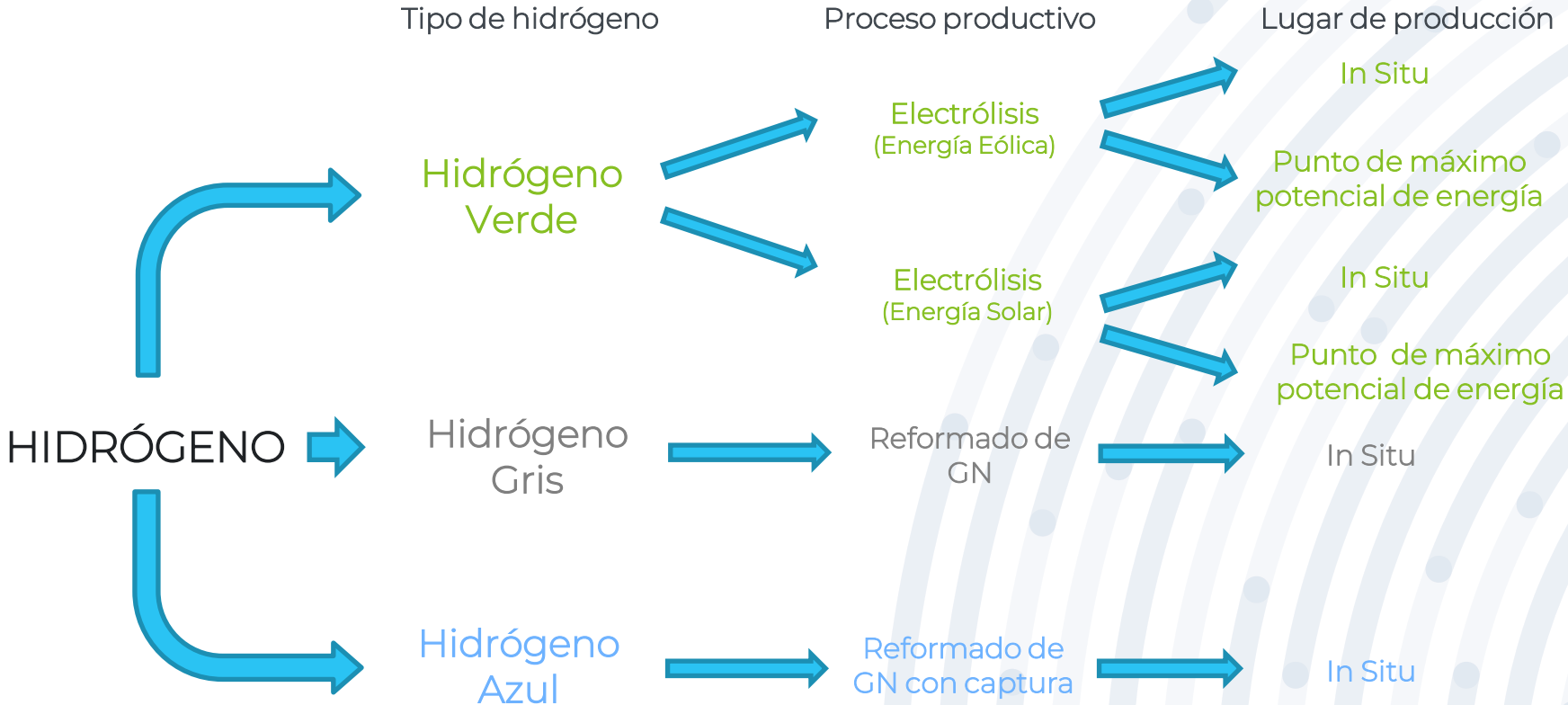
Dimensionar la producción de Hidrógeno

Dimensionar las hidrogeneras.

¿Cómo lo logramos?

- Análisis ambiental **comparando emisiones de CO_2** entre tipo de producción de hidrogeno y CI.
- Estudio de los **procesos productivos** y teniendo en cuenta las demandas estipuladas.
- Utilización de **teoría de colas** .

Tipo de hidrógeno a suministrar



Comparativa de emisiones

Combustión Interna



76,39 kg de CO_2

Hidrógeno Verde



0 kg de CO_2

Hidrógeno Gris



310 kg de CO_2

Hidrógeno Azul



Entre 31 y 93 kg de CO_2

Comparativa de emisiones

Combustión Interna



76,39 kg de CO_2

Hidrógeno Verde



0 kg de CO_2

Hidrógeno Gris



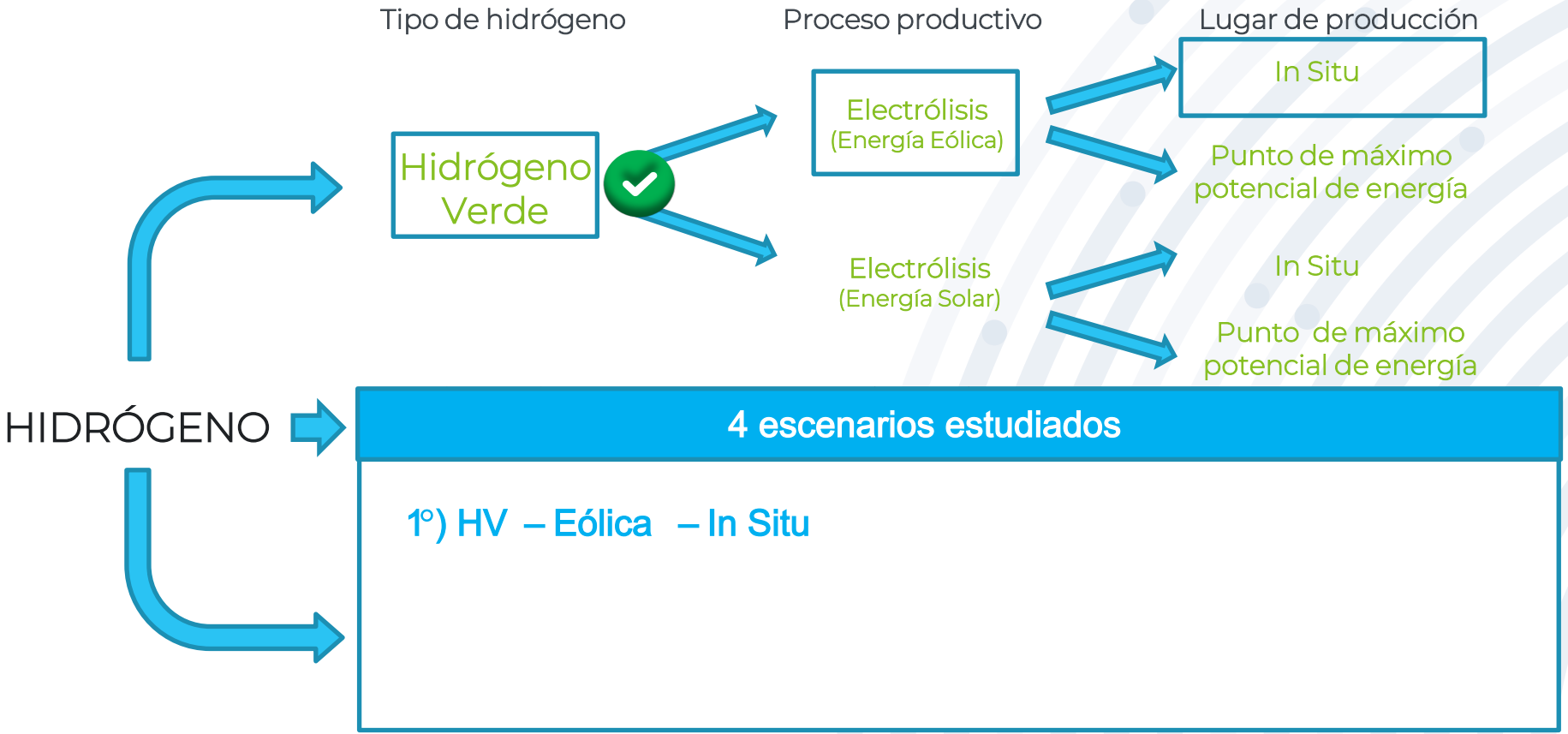
310 kg de CO_2

Hidrógeno Azul

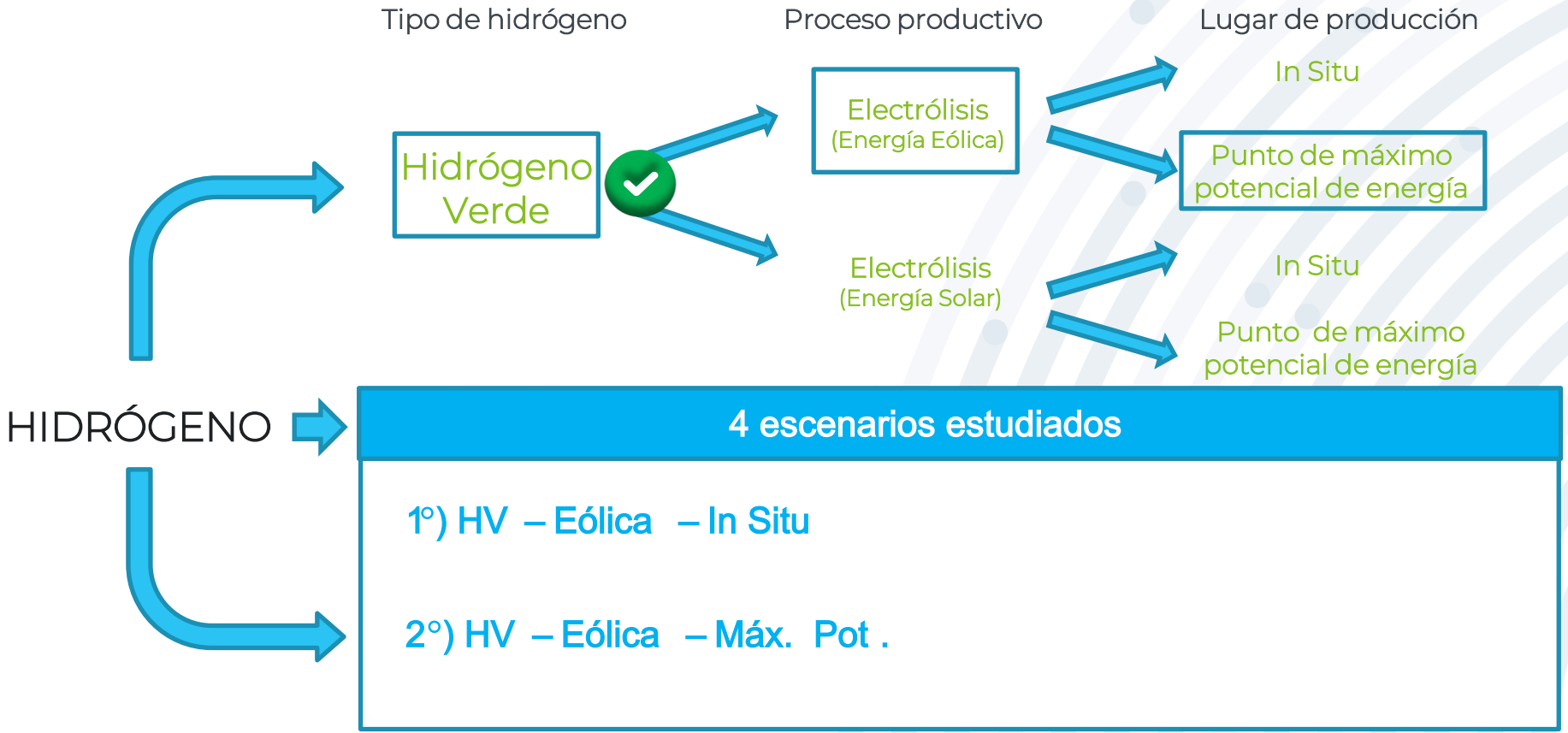


Entre 31 y 93 kg de CO_2

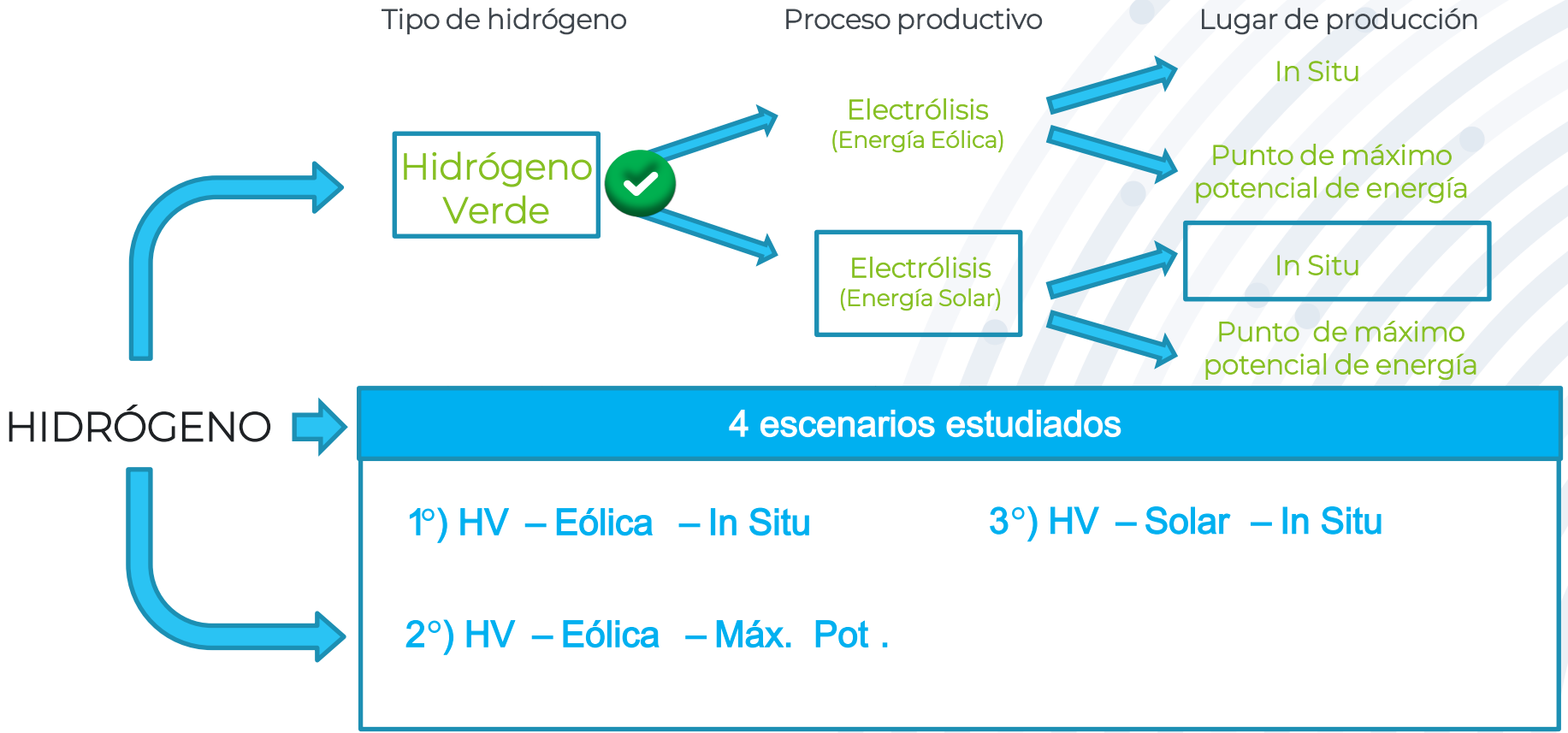
Tipo de hidrógeno a suministrar



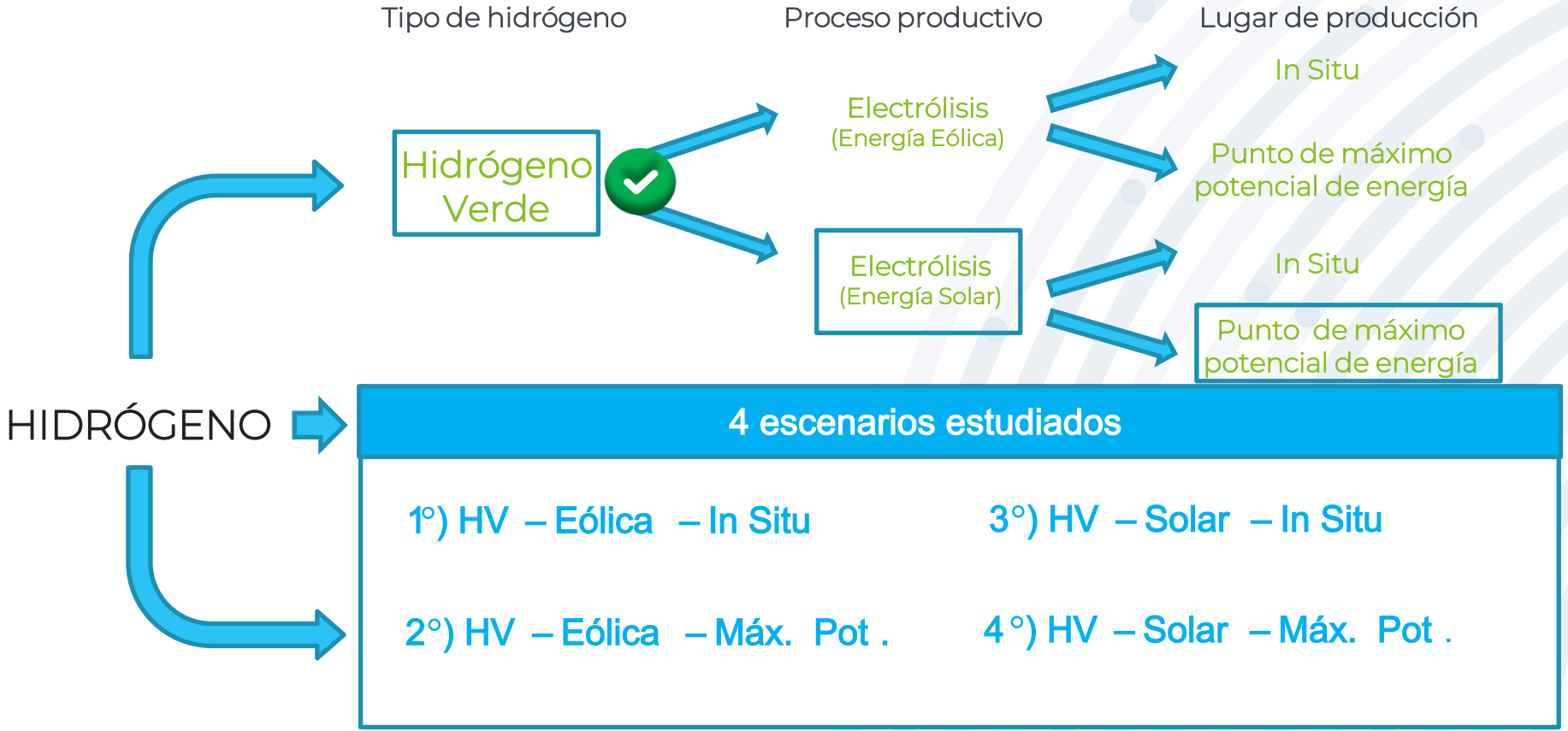
Tipo de hidrógeno a suministrar



Tipo de hidrógeno a suministrar



Tipo de hidrógeno a suministrar



Descarbonización del recambio de camiones de CI por los de H_2

18 oct 2024

46 Tn de CO_2

Disminución de CO_2 en un **día** normal de tránsito en el corredor.

2024

16.729 Tn de CO_2

Disminución de CO_2 en un **año** normal de tránsito en el corredor.



100.377
árboles plantados

18 oct 2050

2.115Tn de CO_2

Disminución de CO_2 en un **día** normal de tránsito en el corredor.

2050

772.027 Tn de CO_2

Disminución de CO_2 en un **año** normal de tránsito en el corredor.



4.632.165
árboles plantados

Objetivos del Estudio Técnico y Ambiental



Seleccionar el tipo de hidrógeno a suministrar



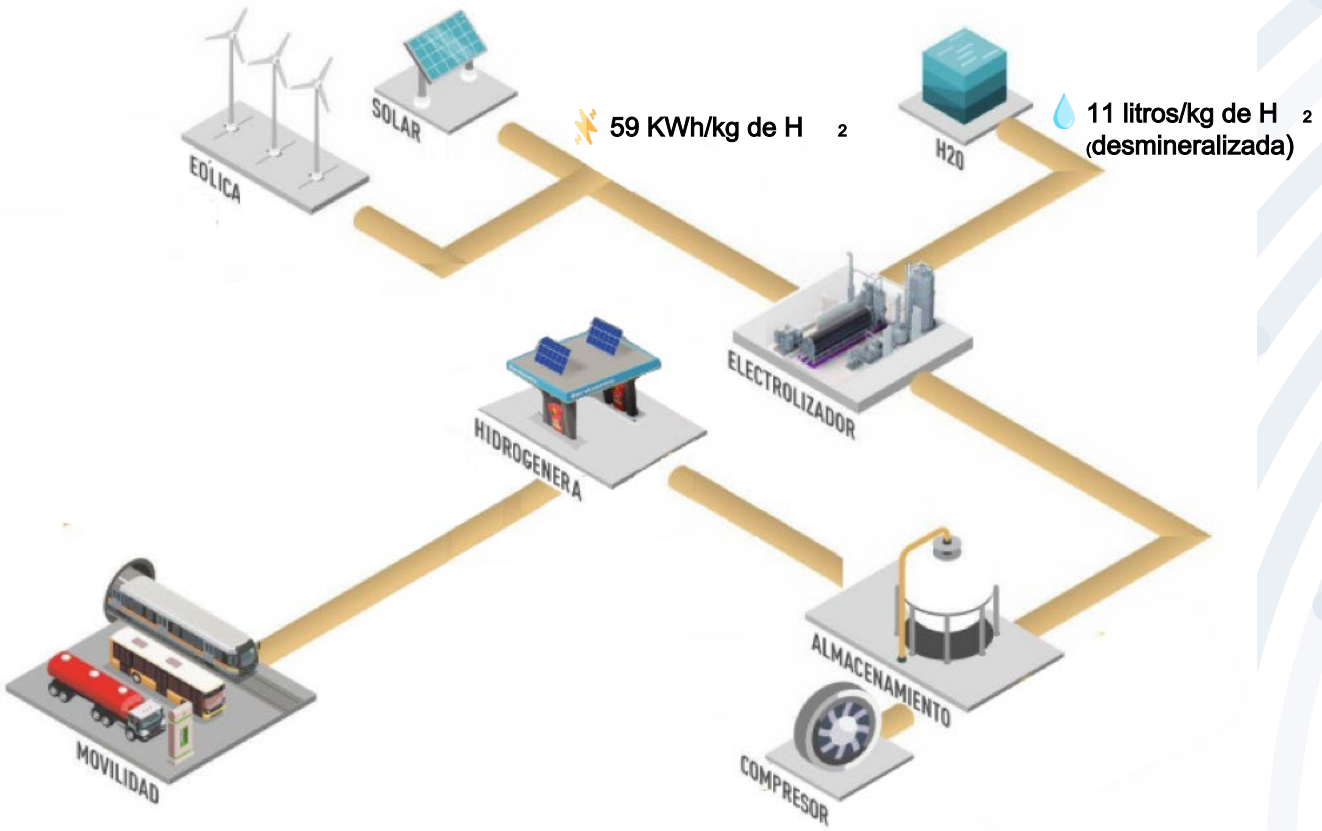
Dimensionar la producción de Hidrógeno

Dimensionar las hidrogeneras.

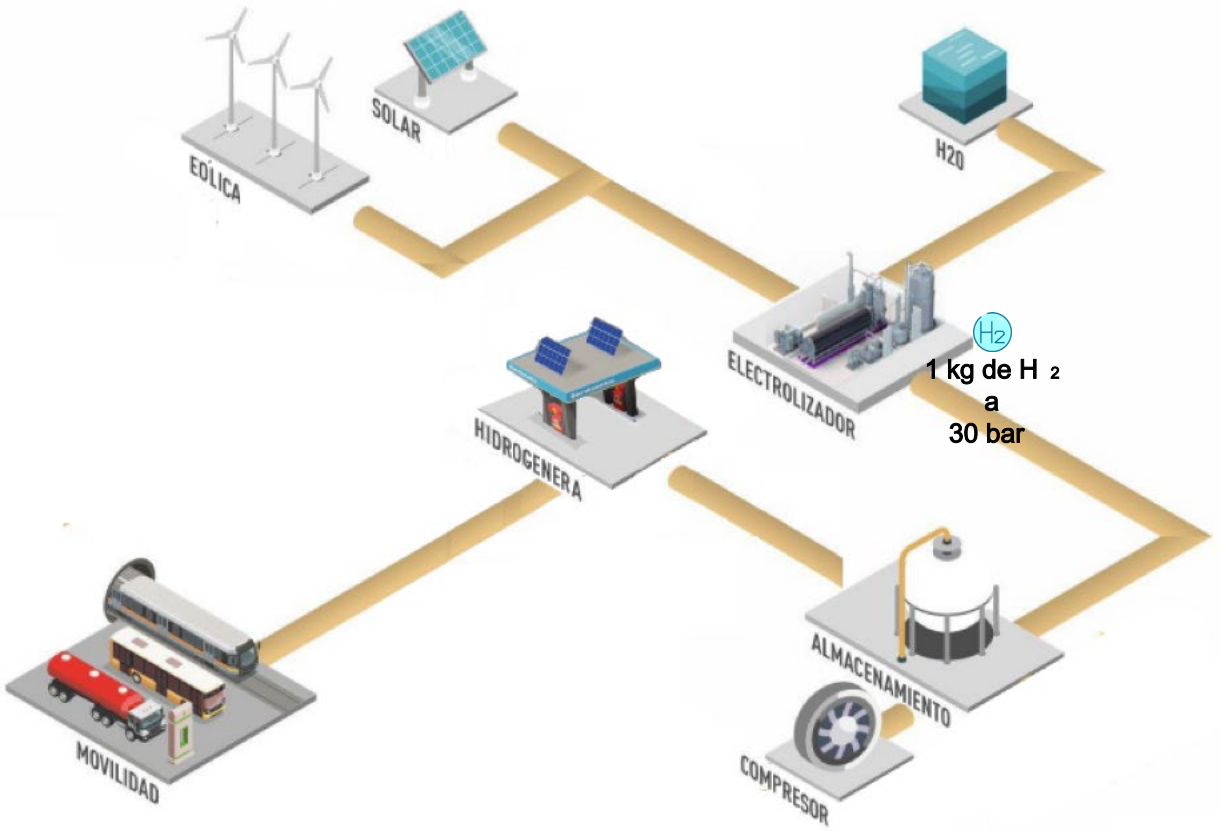
¿Cómo lo logramos?

- Análisis ambiental **comparando emisiones de CO_2** entre tipo de producción de hidrogeno y CI.
- Estudio de los **procesos productivos** y teniendo en cuenta las demandas estipuladas.
- Utilización de **teoría de colas** .

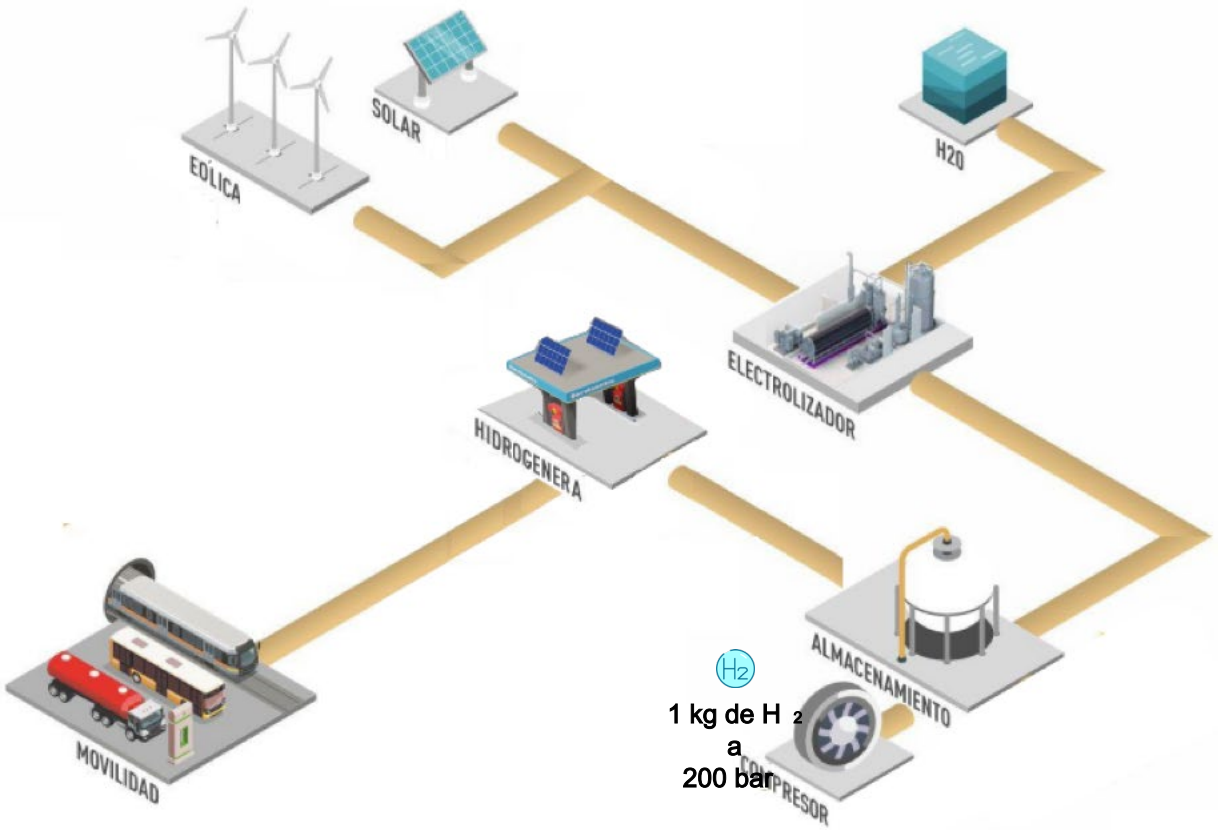
Proceso productivo a dimensionar



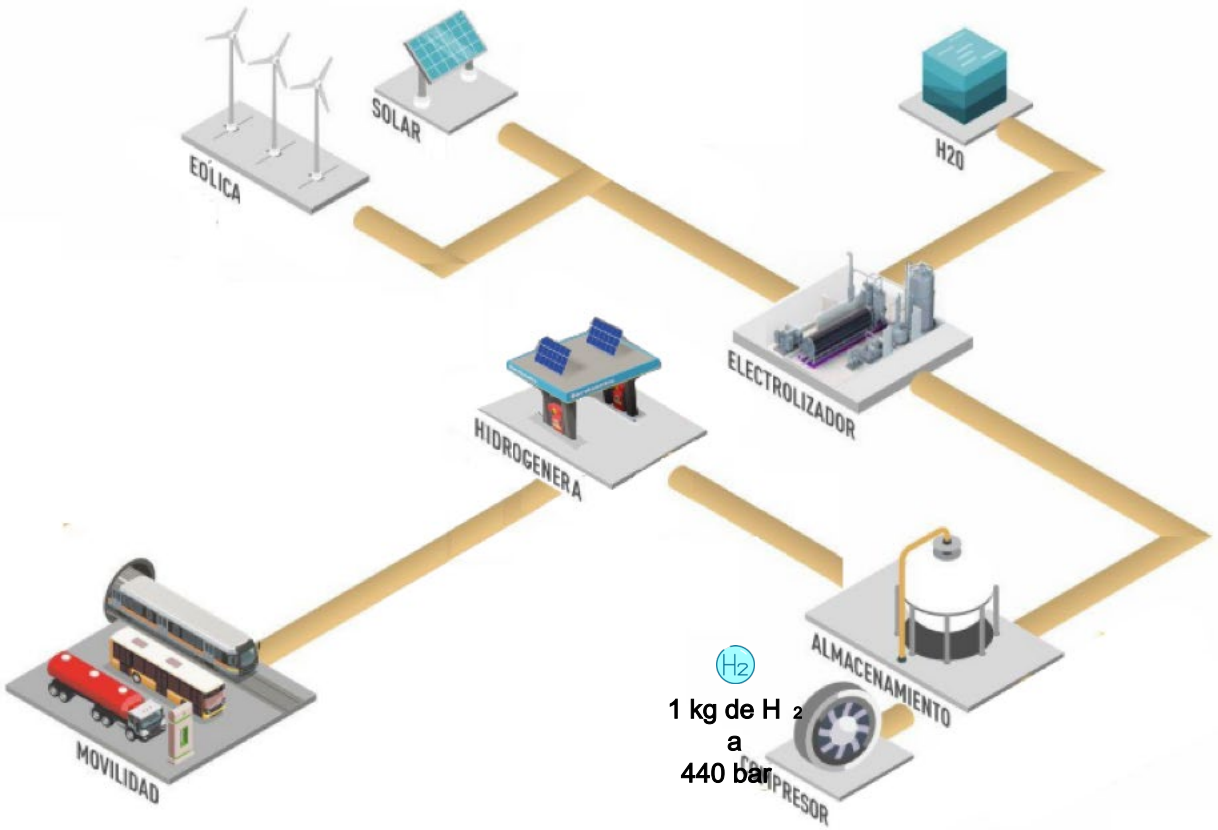
Proceso productivo a dimensionar



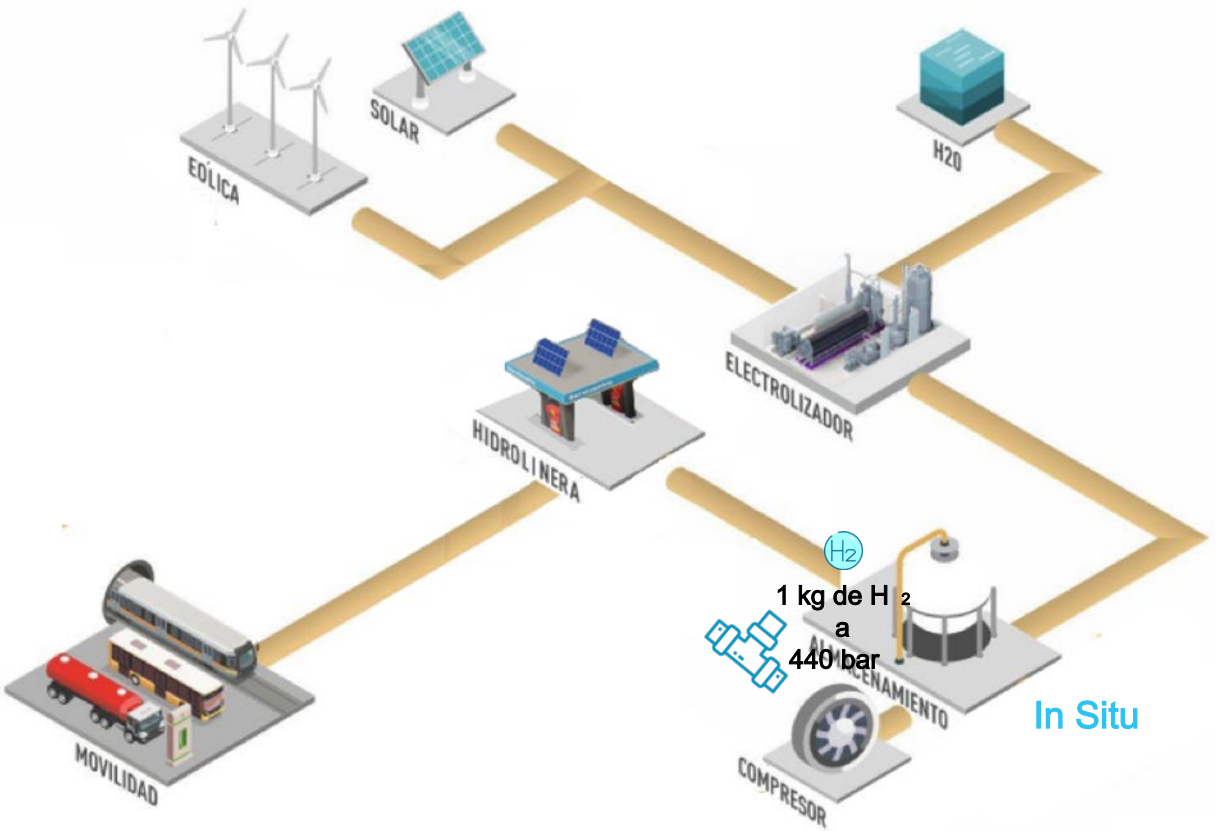
Proceso productivo a dimensionar



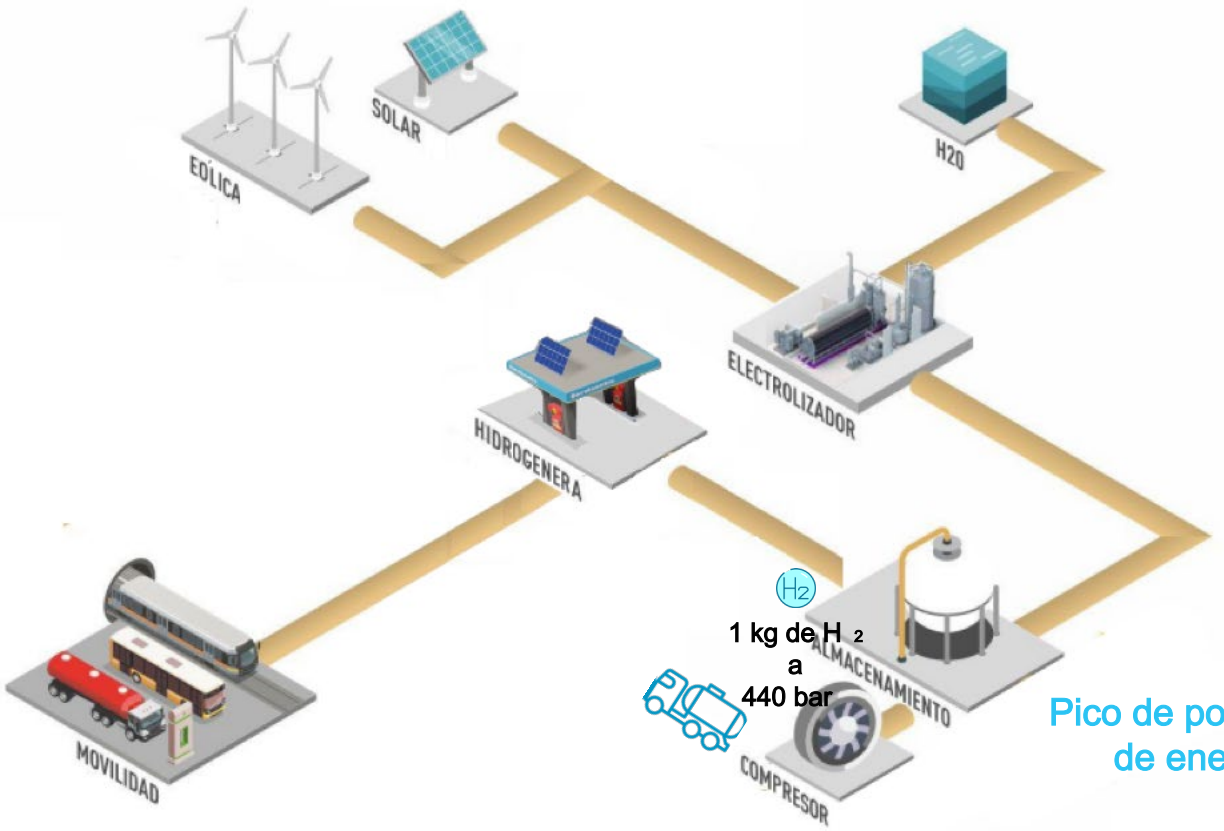
Proceso productivo a dimensionar



Proceso productivo a dimensionar

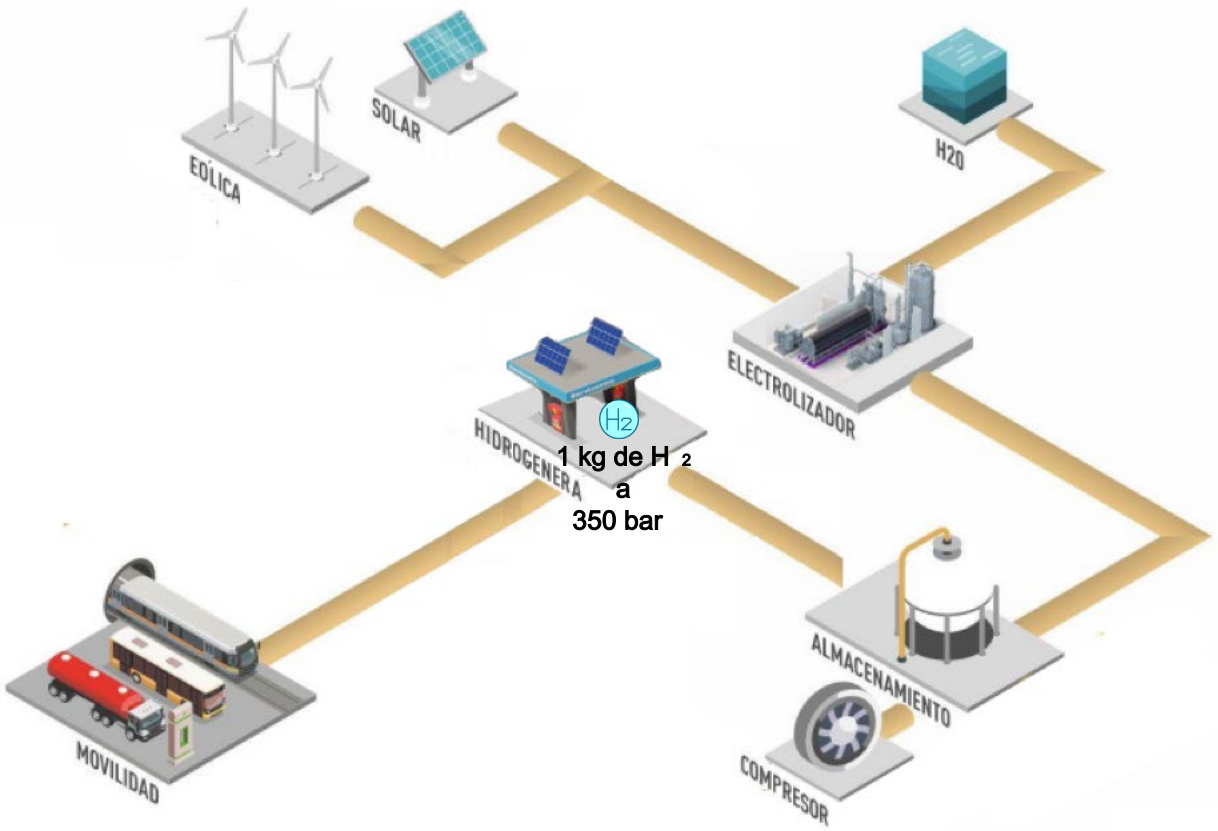


Proceso productivo a dimensionar



Pico de potencial de energía

Proceso productivo a dimensionar



Cálculos de fuente de energía

Fuentes de

(aerogeneradores / p





Cálculo de **demanda diaria de energía.** KWh – día

Cálculo de **demanda mensual de energía** KWh – mes ¡

Obtención de valores de **irradiación promedio** (paneles solares) y **velocidad de los vientos promedio** (aerogeneradores). KWh/m² - día o m/s

Aerogeneradores:

Cálculo de **cantidad de aerogeneradores o paneles solares** necesarios en cada mes del año.

$$E = \frac{1}{2} * A * \rho * u^3 * 0{,}59 * 24\ h * días\ en\ el\ mes\ [Wh - mes]$$

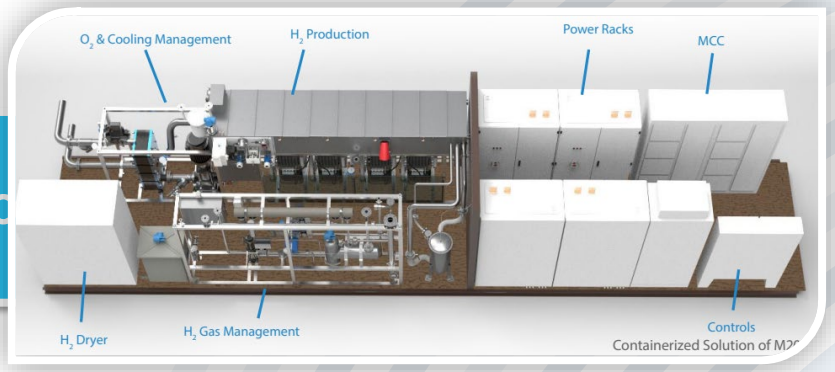
Paneles solares:

$$m^2 necesarios = \frac{demanda\ de\ energía\ mensual\ estimada\ [kWh\ mensual]}{irrad.\ solar\ prom.\ diaria\ \left[\frac{kWh\ diario}{m^2}\right] * dias\ en\ el\ mes * 0{,}2}$$

Cálculo de **cantidad de aerogeneradores o paneles solares** fijos mensual para obtener un **balance energético anual positivo.** ΣEnergía mes ¡ >0

Cálculos de electrolizadores

Electrolizado



Búsqueda de **tipos y m**

PROTON
THE LEADER IN ON SITE GAS GENERATION

MODEL	M200	M400
Description	Large-scale, modular, skid-based, on-site hydrogen generator. Load following operation automatically adjusts input to follow supply or output to match demand.	
Electrolyte	Proton Exchange Membrane (PEM) - caustic-free	
Hydrogen Production*	200 Nm^3/hr 432 kg per 24 hours	400 Nm^3/hr 864 kg per 24 hours
Delivery Pressure	30 barg / 435 psig	
Hydrogen Purity*	> 99.9995% (water vapor < 2 ppm, -72°C (-98°F) dewpoint, N2 < 2 ppm, O2 < 1 ppm, all others undetectable)	
Electrical Power Consumption	1 MW @ Cell Stacks	2 MW @ Cell Stacks

Se dimensiona la **capacidad de producción instalada** teniendo en cuenta el mes de **mayor producción diaria.**

Capacidad de producción Instalada [Kg de H_2 /día] > Producción del mes pico [Kg de H_2 / día]

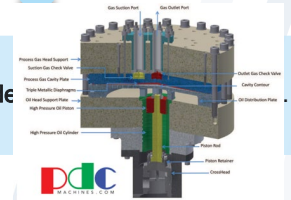
Cálculos de compresores

Compresores

Se establece el **proceso de comp** electrolizador hasta la llegac

Electrolizador → H_2 a 30 bar → Compresor 1 → H_2 a 200 bar → Compresor 2 → H_2 a 440 bar → Almacenamiento

Selección del **tipo de**



COMPRESORES ALTERNATIVOS DE MEMBRANA (COMPRESORES DE DIAFRAGMA)

Apto para compresión de gases.
Disminuye las pérdidas por fugas durante el proceso.
Reduce la contaminación del gas durante el proceso.

Cálculo de la **cantidad de compresores** y modelos para solventar el **caudal máximo de producción de H**.

Capacidad de compresión > Caudal de generación

[Nm³/hr] *[Nm³/hr]*

Cálculos de almacenamiento

Almacenamiento



Sumatoria de
meses cons
superavit.

CABA →

Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0,08 M	0,20 M	0,48 M	0,90 M	0,93 M	0,54 M	0,09 M

0,08 M + 0,20 M + 0,48 M + 0,90 M + 0,93 M + 0,54 M + 0,09 M = 3,22 MKWh

Conversión de la cantidad de MKWh en **kg de hidrógeno** .

Kgs de H_2 a almacenar = $\frac{\text{Energía [KWh]}}{59\ \text{KWh/ kg de } H_2 * 1.000\ \text{kg/ Tn}}$

Objetivos del Estudio Técnico y Ambiental



Seleccionar el tipo de hidrógeno a suministrar



Dimensionar la producción de Hidrógeno



Dimensionar las hidrogeneras

¿Cómo lo logramos?

- Análisis ambiental **comparando emisiones de CO_2** entre tipo de producción de hidrogeno y CI.
- Estudio de los **procesos productivos** y teniendo en cuenta las demandas estipuladas.
- Utilización de **teoría de colas** .

Partes de una Hidrogenera o Hidrolinera

Tanques de almacenaje de H_2



Dispensadores

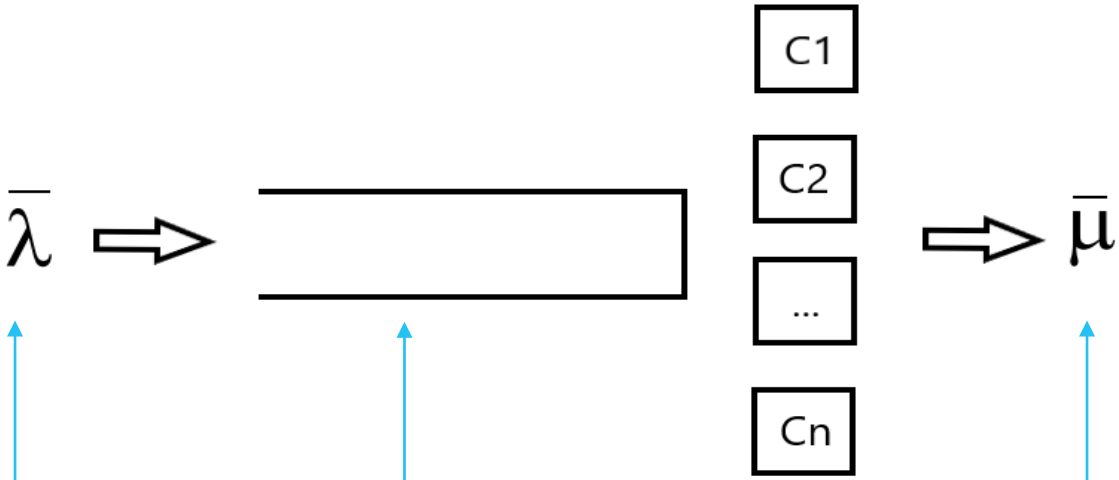
Hidrogenera o hidrolinera convencional

Cantidad de dispensadores

Modelo P/P/M – Teoría de Colas

Hipótesis

- *Todos los camiones que llegan a la hidrogenera o hidrolinera se quedan en la cola esperando.*
- *No se tiene en cuenta el tiempo de abastecimiento de las hidrogeneras o hidrolineras (1 vez por semana).*
- *Se tiene en cuenta una distribución de llegada de camiones equitativa y constante.*



Partes de una Hidrogenera o Hidrolinera

Tanques de almacenaje de H_2



Hidrogenera o hidrolinera convencional

Dispensadores

Hidrogenera o hidrolinera para 100 camiones diarios

n = 2 dispensadores

Hidrogenera o hidrolinera para 80 camiones diarios

n = 2 dispensadores

Hidrogeneras o hidrolineras para 60 camiones diarios

n = 1 dispensador

Cantidad de H_2 a almacenar

Hipótesis: las hidrogeneras o hidrolineras se abastecen de hidrógeno 1 vez por semana.

Hidrogenera o hidrolinera para 100 camiones diarios

7 días * 100 * 31 kg * 0,75 = **16,28 Tn a almacenar**

3,5 días * 100 * 31 kg * 0,75 = **8,14 Tn a almacenar** → 2 veces por semana

2,33 días * 100 * 31 kg * 0,75 = **5,42 Tn a almacenar** → 3 veces por semana

Hidrogenera o hidrolinera para 80 camiones diarios

7 días * 80 * 31 kg * 0,75 = **13,02 Tn a almacenar**

3,5 días * 80 * 31 kg * 0,75 = **6,51 Tn a almacenar** → 2 veces por semana

2,33 días * 80 * 31 kg * 0,75 = **4,33 Tn a almacenar** → 3 veces por semana

Hidrogeneras o hidrolineras para 60 camiones diarios

7 días * 60 * 31 kg * 0,75 = **9,77 tn a almacenar**

3,5 días * 60 * 31 kg * 0,75 = **4,89 tn a almacenar** → 2 veces por semana

2,33 días * 60 * 31 kg * 0,75 = **3,25 tn a almacenar** → 3 veces por semana

Partes de una Hidrogenera o Hidrolinera

Tanques de almacenaje de H_2

Hidrogenera o hidrolinera para 100 camiones diarios

16,28 Tn a almacenar

Hidrogenera o hidrolinera para 80 camiones diarios

13,02 Tn a almacenar

Hidrogeneras o hidrolineras para 60 camiones diarios

9,77 Tn a almacenar



Hidrogenera o hidrolinera convencional

Dispensadores

Hidrogenera o hidrolinera para 100 camiones diarios

n = 2 dispensadores

Hidrogenera o hidrolinera para 80 camiones diarios

n = 2 dispensadores

Hidrogeneras o hidrolineras para 60 camiones diarios

n = 1 dispensador

Objetivos del Estudio Técnico y Ambiental



Seleccionar el tipo de hidrógeno a suministrar



Dimensionar la producción de Hidrógeno

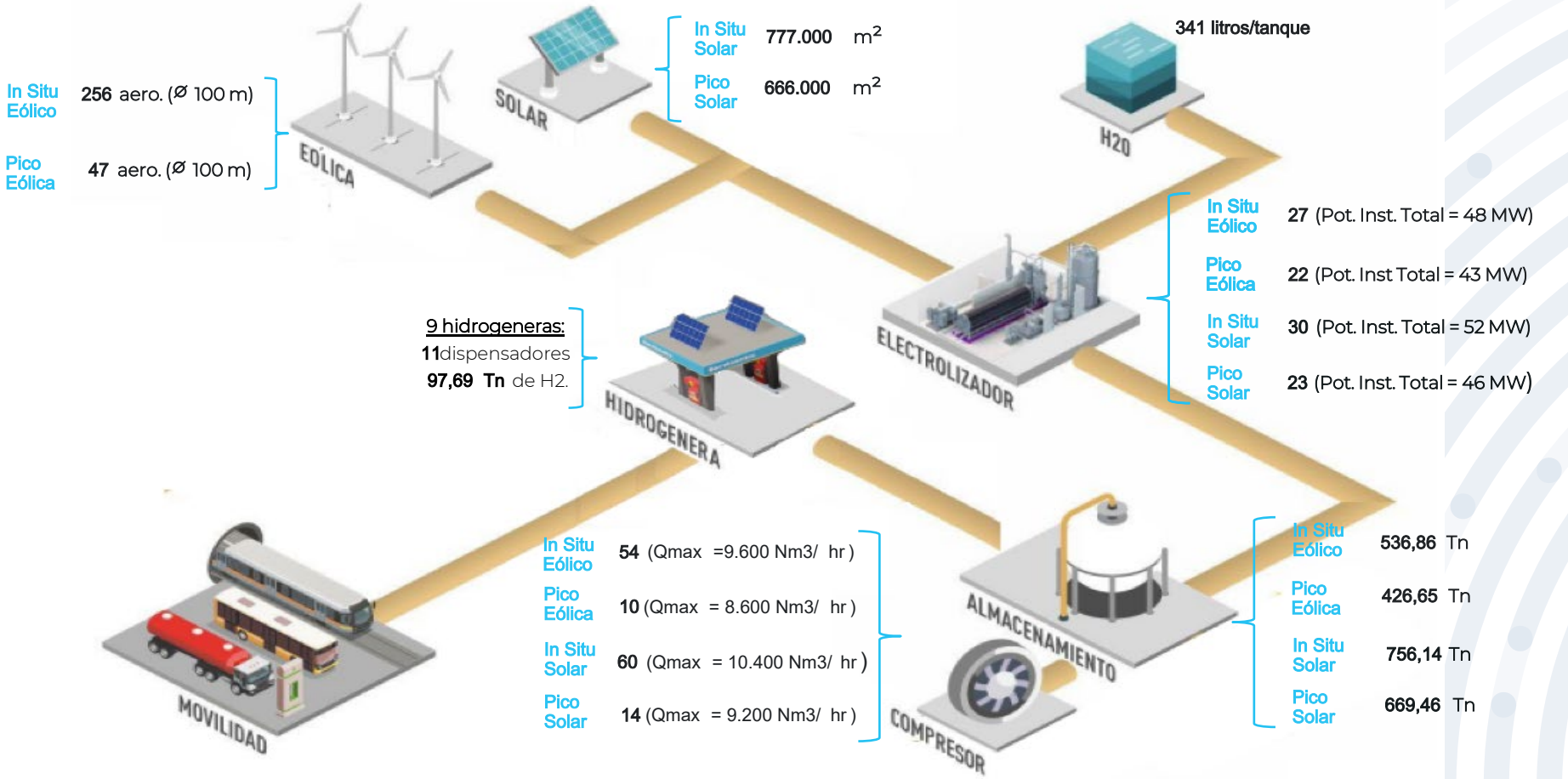


Dimensionar las hidrogeneras.

¿Cómo lo logramos?

- Análisis ambiental **comparando emisiones de CO_2** entre tipo de producción de hidrogeno y CI.
- Estudio de los **procesos productivos** y teniendo en cuenta las demandas estipuladas.
- Utilización de **teoría de colas** .

Conclusión Estudio Técnico y Ambiental



Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



Objetivos del Estudio Económico



Detectar el escenario con mayor rentabilidad



Realizar un análisis de sensibilidad

Objetivos del Estudio Económico



Detectar el escenario con mayor rentabilidad



Realizar un análisis de sensibilidad

¿Cómo lo logramos?

- Calcular la **inversión inicial** para la capacidad de **600 camiones/día** por cada escenario de producción de H_2 verde.
- Calcular el **VAN y TIR** para cada escenario de producción de H2 verde.
- **Análisis de sensibilidad:** se plantean 3 escenarios.

Objetivos del Estudio Económico

Detectar el escenario con mayor rentabilidad

Realizar un análisis de sensibilidad

¿Cómo lo logramos?

- Calcular la **inversión inicial** para la capacidad de **600 camiones/día** por cada escenario de producción de H_2 verde.
- Calcular el **VAN y TIR** para cada escenario de producción de H2 verde.
- **Análisis de sensibilidad:** se plantean 3 escenarios.

Inversión Inicial por producción

Producción en Pico de Energía Solar

Concepto	Cantidad estimada	Precio estimado	Total estimado
Compresores (# de PDC-P) + instalación	4	USD 1.610.000,00	USD 15.812.500
Compresores (# de PDC-4,150) + instalación	10	USD 215.625,00	USD 2.381.758
Tanques Alm. (en tns) + instalación	669,46	USD 3.520,00	USD 2.366.672
Paneles Solares (r		0	USD 32.200.000
Electrolizador M4		0,00	USD 22.112.200
Electrolizador M2		0,00	USD 0
Equipo desminera		0	USD 193.058
Equipo de extracción de agua + instalación	1	USD 108.651,91	USD 108.652
Subtotal (producción H2)			**USD 75.174.840**
9 hidrogeneras			USD 5.833.639
Total de inversión Estimada			**USD 81.008.479**

1°

USD 81.008.479

Producción In Situ de Energía Solar

Concepto	Cantidad estimada	Precio estimado	Total estimado
Compresores (# de PDC-5) + instalación	24	USD 395.312,50	USD 9.487.500
Compresores (# de PDC-4, 150) + instalación	30	USD 215.625,00	USD 6.468.750
Compresores (# de PDC-4) + instalación	6	USD 158.125,00	USD 948.750
Tanques Alm. (en tns) +			USD 2.661.613
Paneles Solares (mts2)			USD 38.850.000
Electrolizador M400 (#			USD 21.150.800
Electrolizador M200 (#			USD 3.845.600
Equipo desmineralizador (Litros/dia) + instalación	222860	USD 0,90	USD 200.290
Equipo de extracción de agua + instalación	9	USD 108.651,91	USD 977.867
Subtotal (producción H2)			**USD 84.591.170**
9 hidrogeneras			USD 5.833.639
Total de inversión Estimada			**USD 90.424.809**

2°

USD 90.424.809

Producción en Pico de Energía Eólica

Concepto	Cantidad estimada	Precio estimado	Total estimado
Compresores (# de PDC-P) + instalación	4	USD 1.610.000	USD 6.440.000
Compresores (# de PDC-4,150) + instalación	6	USD 215.625	USD 1.293.750
Tanques Alm. (en tns) + instalación	426,65	USD 3.520	USD 1.501.808
Aerogeneradores (			USD 67.210.000
Electrolizador M4(			USD 20.189.400
Electrolizador M2(			USD 480.700
Equipo desmineral			USD 183.167
Equipo de extracción de agua + instalación	1	USD 108.652	USD 108.652
Subtotal (producción H2)			**USD 97.407.477**
9 hidrogeneras			USD 5.833.639
Total de inversión Estimada			**USD 103.241.116**

3°

USD 103.241.116

Producción In Situ de Energía Eólica

Concepto	Cantidad estimada	Precio estimado	Total estimado
Compresores (# de PDC-5) + instalación	24	USD 395.313	USD 12.240.852
Compresores (# de PDC-4, 150) + instalación	22	USD 215.625	USD 6.192.570
Compresores (# de PDC-4) + instalación	8	USD 158.125	USD 948.750
Tanques Alm. (er			USD 1.860.320
Aerogeneradores		0	USD 354.640.000
Electrolizador M			USD 19.228.000
Electrolizador M			USD 2.884.200
Equipo desmineralizador (Litros/dia) + instalación	211.812,24	USD 0,90	USD 190.361
Equipo de extracción de agua + instalación	9	USD 108.652	USD 977.867
Subtotal (producción H2)			**USD 399.162.920**
9 hidrogeneras			USD 5.833.639
Total de inversión Estimada			**USD 404.996.559**

4°

USD 404.996.599

Objetivos del Estudio Económico



Detectar el escenario con mayor rentabilidad

Realizar un análisis de sensibilidad

¿Cómo lo logramos?

- Calcular la **inversión inicial** para la capacidad de **600 camiones/día** por cada escenario de producción de H_2 verde.
- Calcular el **VAN y TIR** para cada escenario de producción de H2 verde.
- **Análisis de sensibilidad:** se plantean 3 escenarios.

Variables para el cálculo de VAN

$$\text{Trema} = Rf + \beta \times (Rm - Rf) + RP = \mathbf{15{,}83\ \%}$$

Método CAPM

5 años

Horizonte temporal

Nueva celda de combustible con **autonomía de 1.000 km como mínimo** (Aproximadamente 2028)

Entre **9,2** a **13** USD/kg de H_2

Precio del H_2: Comercialización en Hidrogeneras o Hidrolineras

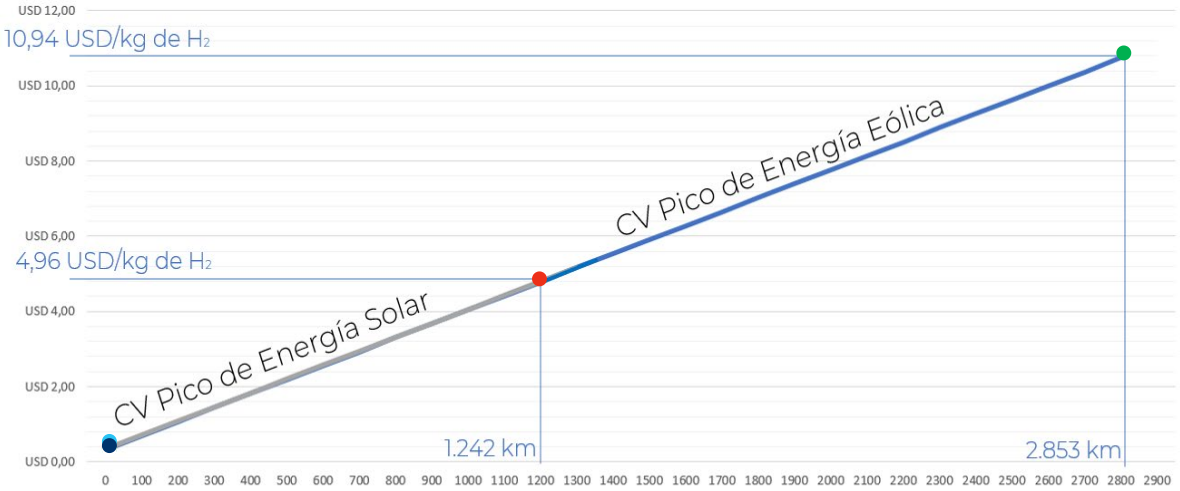
Fuente: h2stations.org

Costos fijos

- ✓ Playeros de hidrogeneras e hidrolineras
- ✓ Operarios de planta
- ✓ Gastos administrativos
- ✓ Mantenimiento

Costos Variables

- ✓ Energía utilizada en el proceso (fuera de la electrolización).
- ✓ Transporte



- CV In Situ de Energía Solar = **0,40** USD/kg de H_2
- CV Pico de Energía Solar = **4,96** USD/kg de H_2
- CV In Situ de Energía Eólica = **0,39** USD/kg de H_2
- CV Pico de Energía Eólica = **10,94** USD/kg de H_2

VAN y TIR

Producción en Pico de Energía Solar

VAN = 13,39 MUSD

TIR = 22 %

Repago = Año 5

Producción In Situ de Energía Solar

VAN = 58,33 MUSD

TIR = 38 %

Repago = Año 4

Producción en Pico de Energía Eólica

VAN = -36,77 MUSD

TIR = 3 %

Producción In Situ de Energía Eólica

VAN = -230,96 MUSD

TIR = - 5 %

Objetivos del Estudio Económico



Detectar el escenario con mayor rentabilidad



Realizar un análisis de sensibilidad

¿Cómo lo logramos?

- Calcular la **inversión inicial** para la capacidad de **600 camiones/día** por cada escenario de producción de H_2 verde.
- Calcular el **VAN y TIR** para cada escenario de producción de H2 verde.
- **Análisis de sensibilidad:** se plantean 3 escenarios.

Análisis de sensibilidad hasta VAN = 0

Análisis para: Producción In Situ de Energía Solar

Escenario 1: reducción de la **demanda de H_2**.

2.289.984 kg de H_2

Reducción de la demanda un **55,10 %**

Escenario 2: reducción del **precio del H_2**.

5,13 USD/kg de H_2

Reducción del precio un **44,24 %**

Escenario 3: aumento del **costo del H_2**.

5,01 USD/kg de H_2

Aumento del costo un **227,45 %**

Objetivos del Estudio Económico



Detectar el escenario con mayor rentabilidad



Realizar un análisis de sensibilidad

¿Cómo lo logramos?

- Calcular la **inversión inicial** para la capacidad de **600 camiones/día** por cada escenario de producción de H_2 verde.
- Calcular el **VAN y TIR** para cada escenario de producción de H2 verde.
- **Análisis de sensibilidad:** se plantean 3 escenarios.

Conclusiones del Estudio Económico



La viabilidad del corredor de hidrógeno verde en Argentina es real debido al **gran potencial energético** del país, **preferentemente solar** .



A igual nivel de producción de hidrógeno, es **menor la inversión** necesaria en el caso de **energía solar** que en el de eólica en nuestro país.



El **transporte** terrestre en estado gaseoso influye en un **70% - 90%** del costos totales de producción de H_2 (según el caso de estudio).

Contenido

- Evolución del trabajo
- Norte del Trabajo Profesional
- Introducción
- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico y Ambiental
- Estudio Económico
- Conclusiones



Conclusiones



La gran capacidad de Argentina de desarrollar **Energías renovables** posiciona al país como uno de los máximos potenciales productores mundiales de **Hidrógeno verde** .



El desarrollo del corredor está sujeto en parte al fomento del cambio de camiones de CI por los de hidrógeno, acompañado por un **marco legal** .



Con la implementación del corredor se estaría reduciendo las **emisiones de CO_2** en **0,5 %** de lo emitido por Argentina en **2021 (3,6 % de lo emitido por todo el transporte)** .



El desarrollo de este **proyecto** sirve para remarcar la importancia estratégica del desarrollo de la tecnología del Hidrógeno en la **Transición Energética** .

¡Muchas gracias!

