

Webinar

# Industria del Hidrógeno Verde

Una mirada más allá de la producción

**Felipe Gallardo, CEO Southern Lights**

**[felipe@southernlights.io](mailto:felipe@southernlights.io)**

**Fecha: 6 de septiembre 2023**

# Relator

## Actualmente

**CEO, fundador – Southern Lights, SaaS for green hydrogen development**  
[www.southernlights.io](http://www.southernlights.io)

## Experiencia en el mundo público, privado y ciencia aplicada

- Gerente de desarrollo de negocios para las Américas, Azelio AB, Suecia.
- Principal consultant green hydrogen projects LIF energy, Italia.
- Ingeniero de proyectos, Comité Solar CORFO, Chile.
- Analista cuantitativo del sistema eléctrico, ex-Antuko (DNV).
- Analista de desarrollo de negocios de transmisión, Elecnor Chile.

## Background académico

- Candidato PhD en tecnologías de energía, KTH Royal Institute of Technology
  - 170+ citations en indexed journals por research en sistemas de H2 verde
- MSc. Ingeniería energética, Universita La Sapienza di Roma.
- Ingeniero civil eléctrico, Universidad de Chile.
- Diplomado en energía solar, Pont. U. Católica de Chile



**Felipe Gallardo**

[felipe@southernlights.io](mailto:felipe@southernlights.io)



**LinkedIn**



# 1. Introducción y Contexto

## ¿A qué llamamos Hidrógeno Verde?



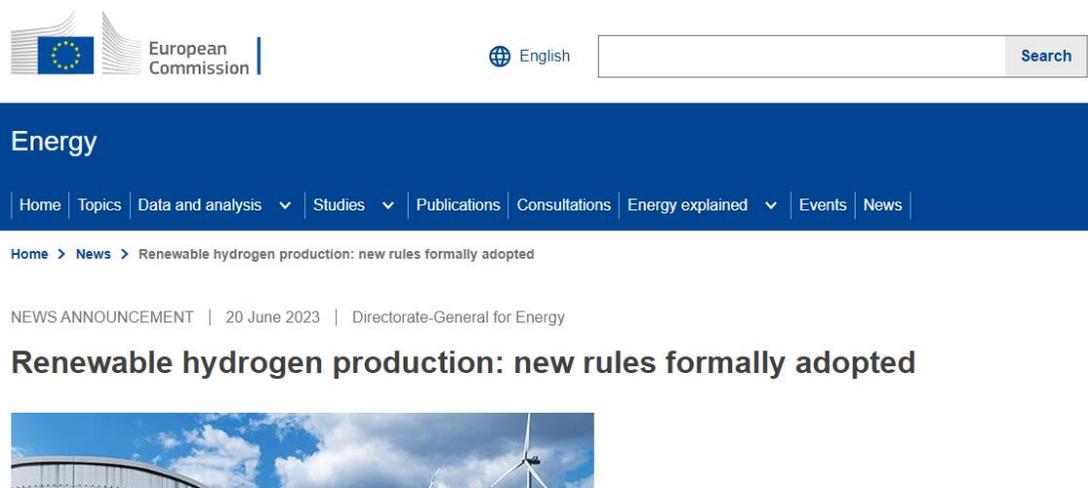
European Commission | English EN

Home > Press corner > Commission sets out rules for renewable hydrogen

Available languages: English

Press release | 13 February 2023 | Brussels

### Commission sets out rules for renewable hydrogen



European Commission | English

Energy

Home | Topics | Data and analysis | Studies | Publications | Consultations | Energy explained | Events | News

Home > News > Renewable hydrogen production: new rules formally adopted

NEWS ANNOUNCEMENT | 20 June 2023 | Directorate-General for Energy

### Renewable hydrogen production: new rules formally adopted



Consideraciones:

*(2) El contenido energético de casi todos los carburantes líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico se basa en el hidrógeno renovable producido mediante electrólisis. **La intensidad de las emisiones del hidrógeno producido a partir de electricidad de origen fósil es sustancialmente superior a la intensidad de las emisiones del hidrógeno producido a partir de gas natural en procesos convencionales. Por lo tanto, es importante garantizar que la demanda de electricidad para la producción de carburantes líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico se satisfaga con electricidad renovable***

Los artículos de este marco regulatorio norman las condiciones para considerar como renovable el suministro eléctrico obtenido mediante plantas de generación o a través de la red mediante contratos de suministros

# Por qué hidrógeno verde – crisis climática

Gran parte de la industria mundial puede ser descarbonizada directamente a través de la electrificación de sus procesos. Si la energía eléctrica proviene de fuentes renovables, el proceso puede ser descarbonizado. Esto aplica a varios procesos industriales y sistemas de transporte ligero.

Hay un amplio sector industrial donde la electrificación no es viable.



**30%**

La industria pesada representa el 30% de las emisiones globales de carbono.



**550B\$**

Necesitamos invertir 550 mil millones de dólares en proyectos de producción de hidrógeno verde al 2030 para la industria pesada.

# 1. Por qué desarrollar proyectos de hidrógeno verde

El hidrógeno verde, más allá de la demanda global existente, solo será desarrollado y comercializado si se presenta como una oportunidad comercial viable para los desarrolladores.

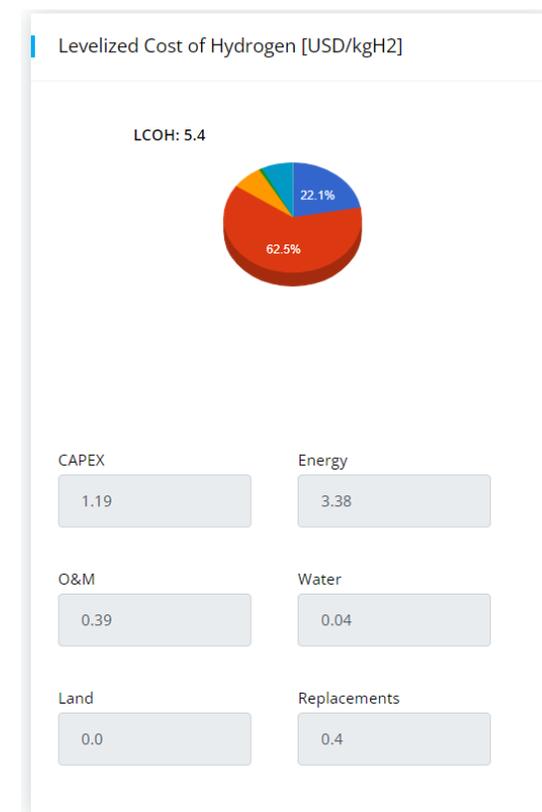
Al analizar los costos, veremos que el principal factor que determina los costos nivelados del hidrógeno es en general el costo de energía.

Por lo tanto, aquellos que puedan aprovechar condiciones de energía a bajo costo y tengan acceso a tecnologías a precios competitivos y financiamiento asequible estarán en posición de desarrollar proyectos con un LCOH (Costo Nivelado de Hidrógeno) mínimo.

En Chile hay ventajas comparativas fuertes para producir H2 verde y derivados: costos de producción de energía, condiciones financieras, industria local, acceso a puertos, etc.

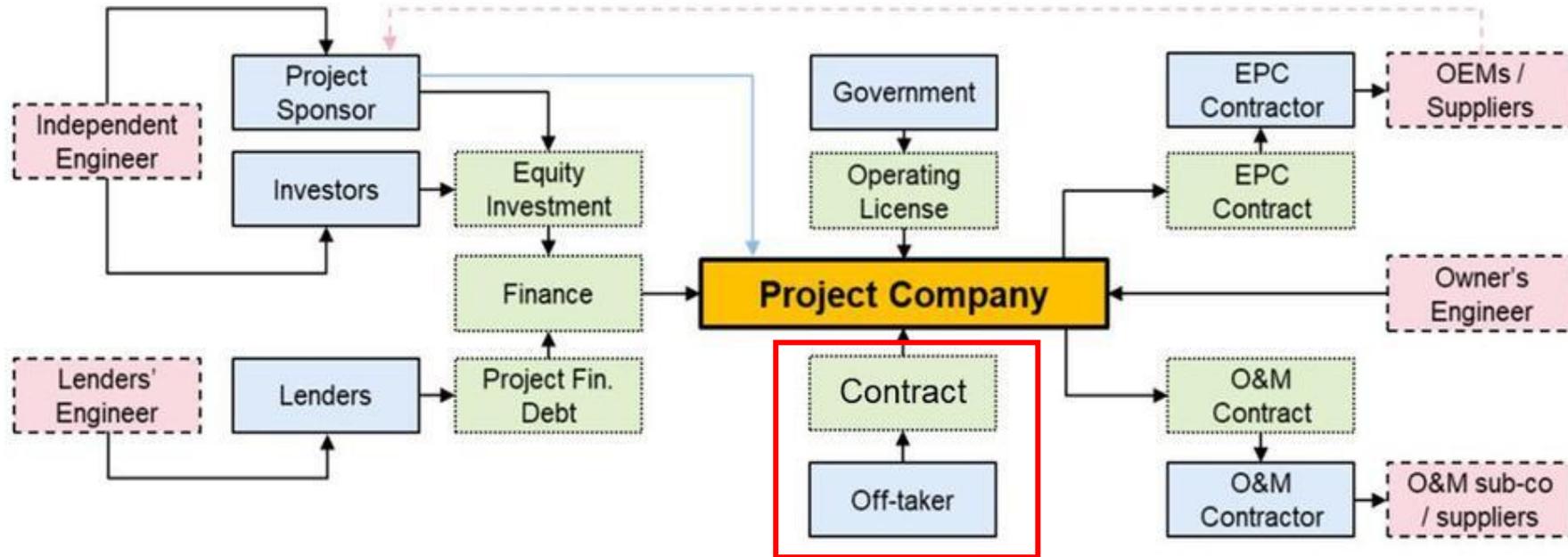
Desarrolladores con experiencia en renovables corren con ventajas pero los costos de producción no son la variable más importante

$$LCOH = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{costs_{(n)}}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{Hydrogen_{(n)}}{(1+r)^n}}$$



Source: Southern Lights

# 1. Por donde comenzamos?



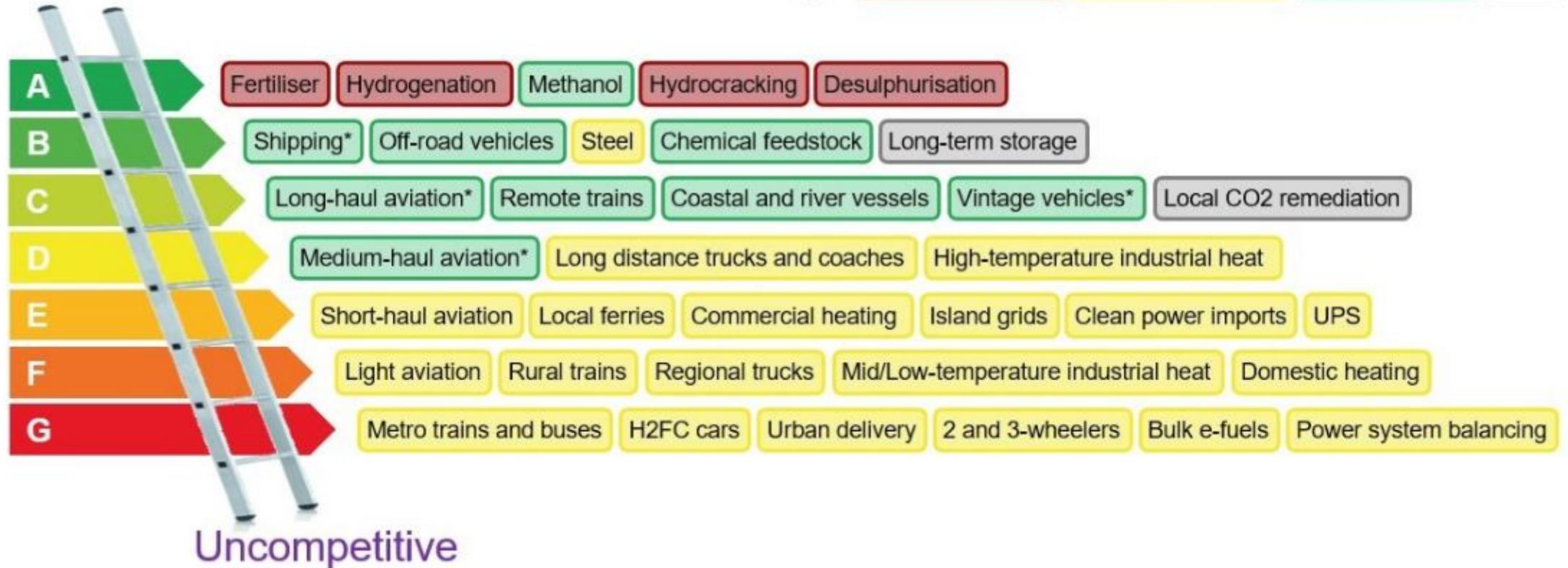
**The first most important variable is the demand**

Source: modified from Rafael Guédes, 2022 KTH.

# Clean Hydrogen Ladder: Competing technologies

Unavoidable

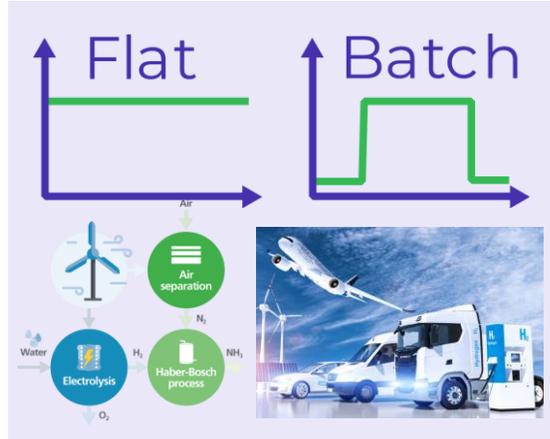
Key: No real alternative Electricity/batteries Biomass/biogas Other



\* Via ammonia or e-fuel rather than H2 gas or liquid

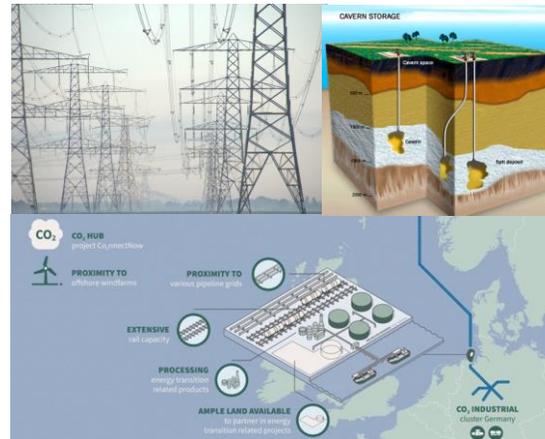
Source: Liebreich Associates (concept credits: Adrian Hiel/Energy Cities & Paul Martin)

# 1. Caracterización de la demanda



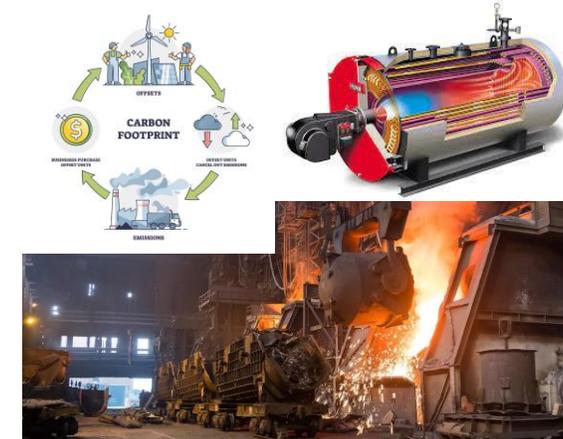
## Delivery specs

- Perfil de demanda
- Presión y temperatura
- Pureza requerida



## Local circumstances

- Infraestructura en la demanda
- Sinergias locales

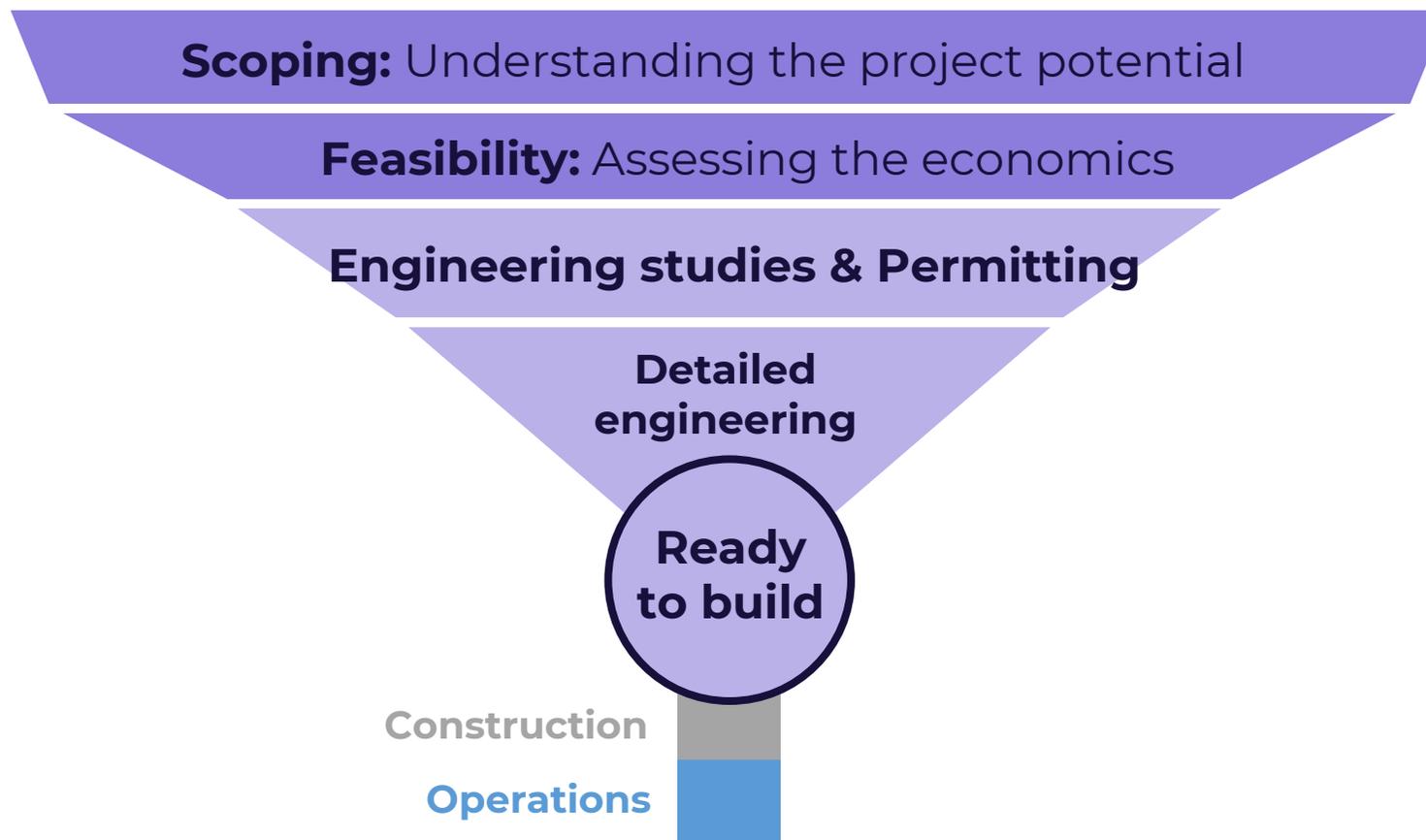


## Alternatives

- Costo alternativo
- Requerimiento de precio
- Requerimiento huella de carbono

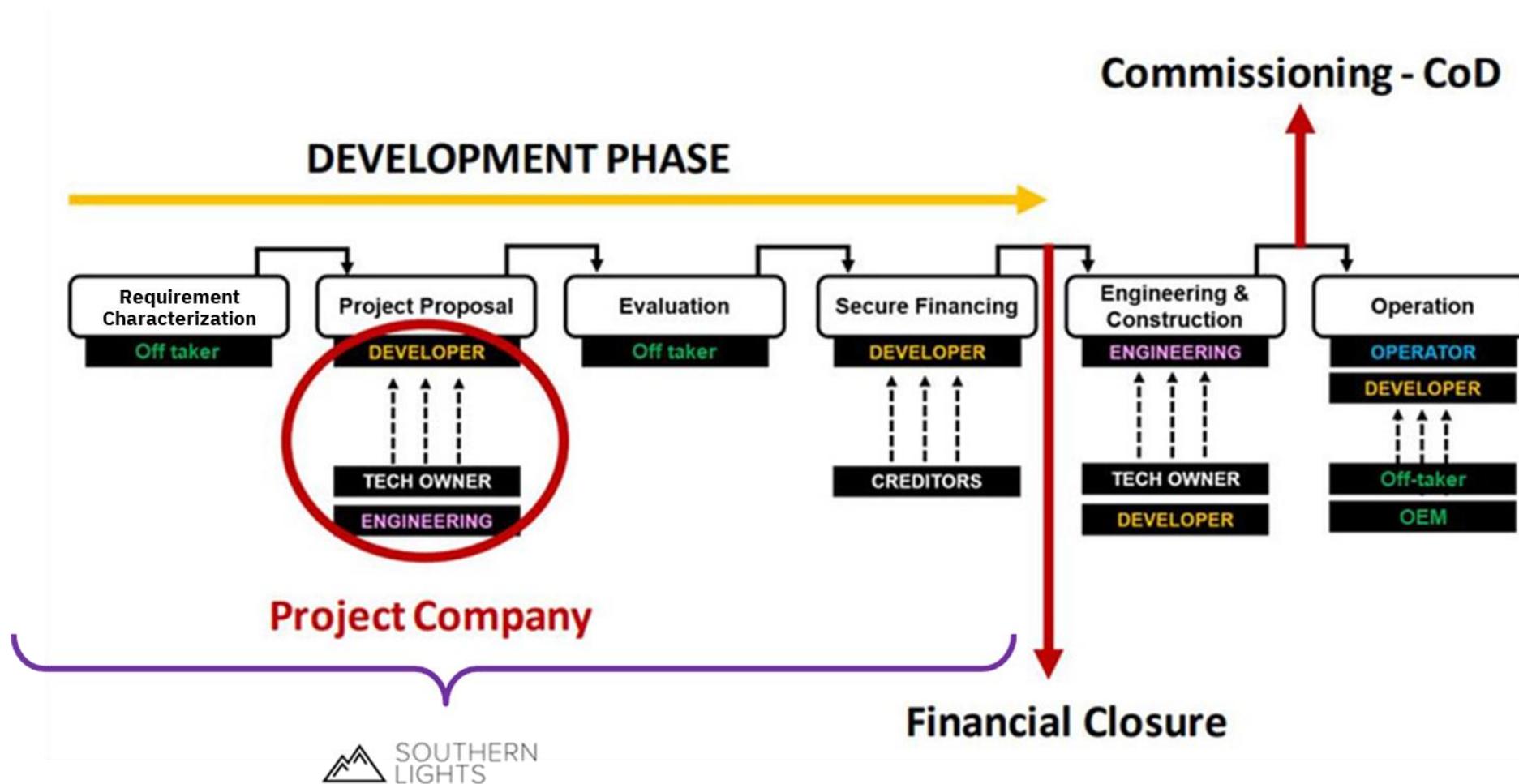
# 1. Las etapas del desarrollo de negocio

Una vez identificada la demanda podemos analizar el mejor proyecto para servirla



Source: Southern Lights

# 1. Las etapas del desarrollo de negocio



Fuente: Modificado a partir de: Rafael Guédes, 2022 KTH.

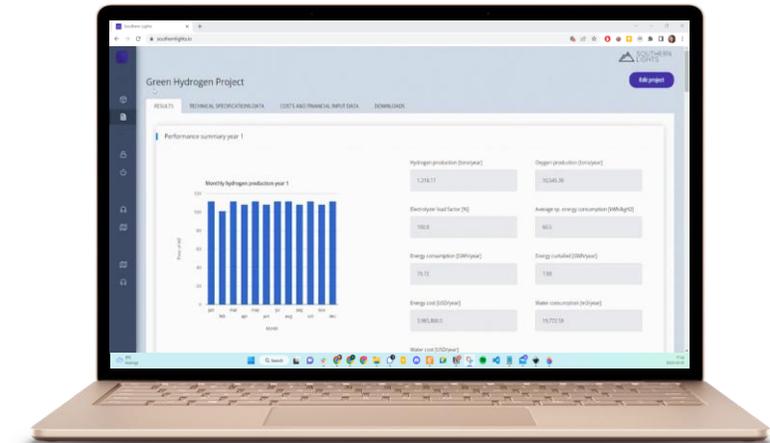
# La necesidad de evaluar bien desde origenación

~1M€

Por estudios de factibilidad de proyectos con bajísimo factor de conversión para avanzar de hasta RTB

98%

De los proyectos de hidrógeno verde actualmente en evaluación no alcanzan FID



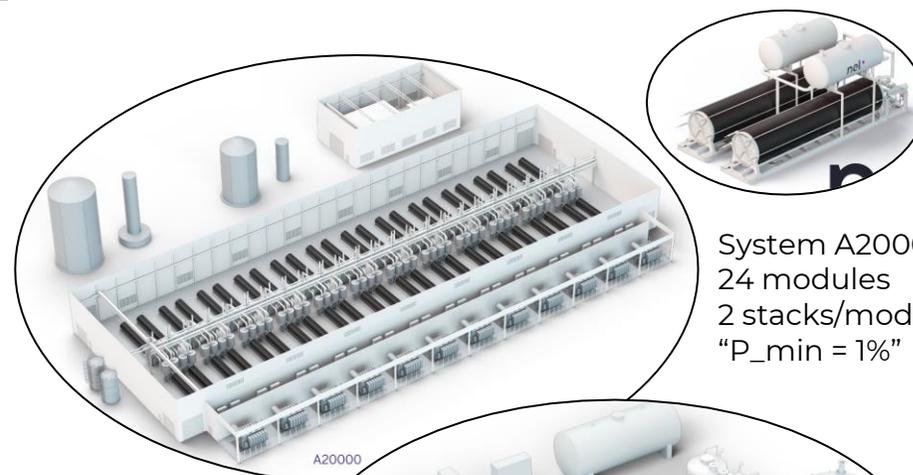
## 2. Plantas de Electrólisis

**Electrolyzer system** = a complete turn-key product from an OEM

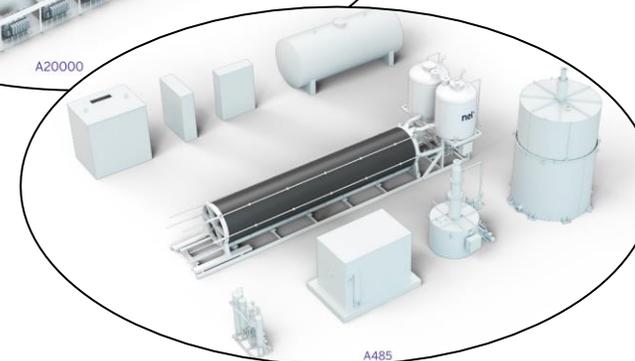
-Qué equipos auxiliares se incluyen a nivel de Planta, Sistema y módulo?

-Cuánto es el consumo específico de la planta y qué incluye

¿Qué componentes auxiliares se incluyen a nivel de módulo? ¿Cuántas pilas por módulo? Especificaciones de las pilas. Especificaciones de los componentes del Balance del Módulo.

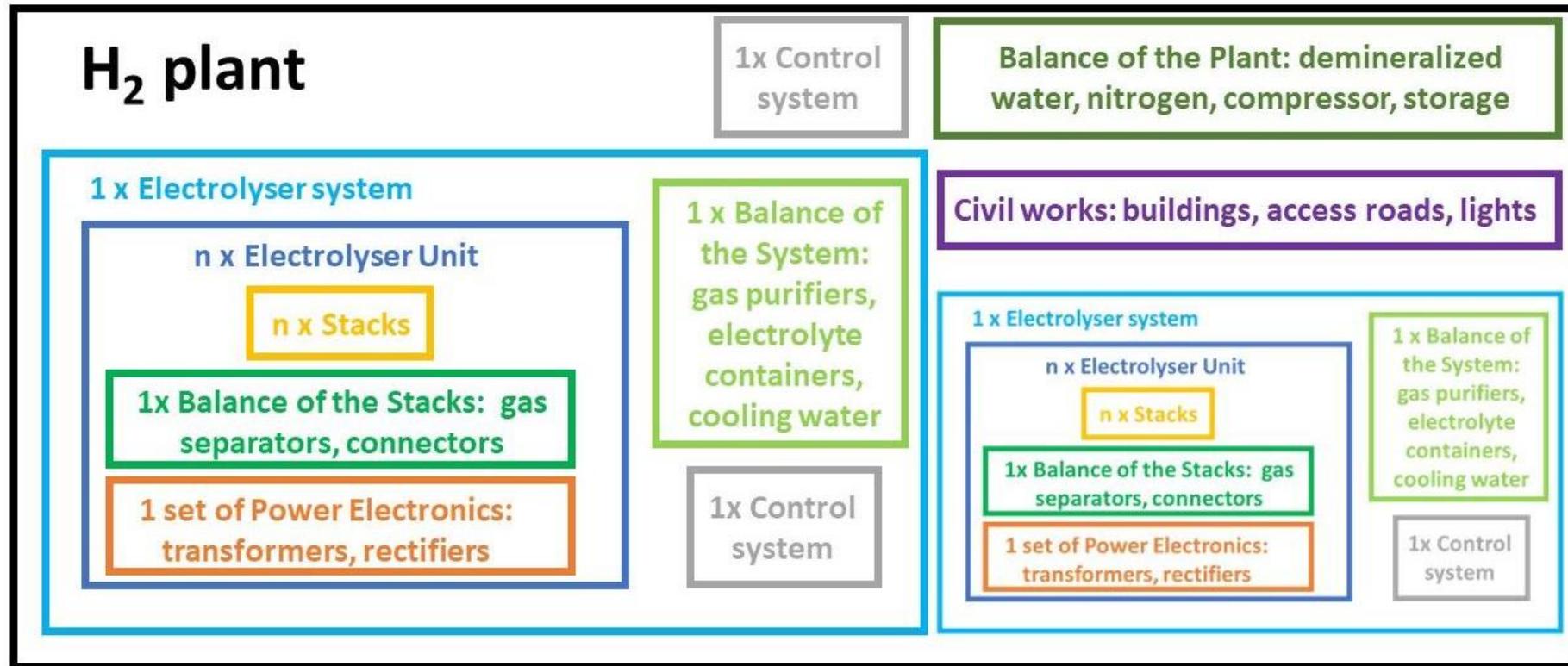


System A2000  
24 modules  
2 stacks/module  
"P\_min = 1%"



System A485  
1x module  
1x stack/module  
"P\_min = 15%"

## 2. Plantas de Electrólisis

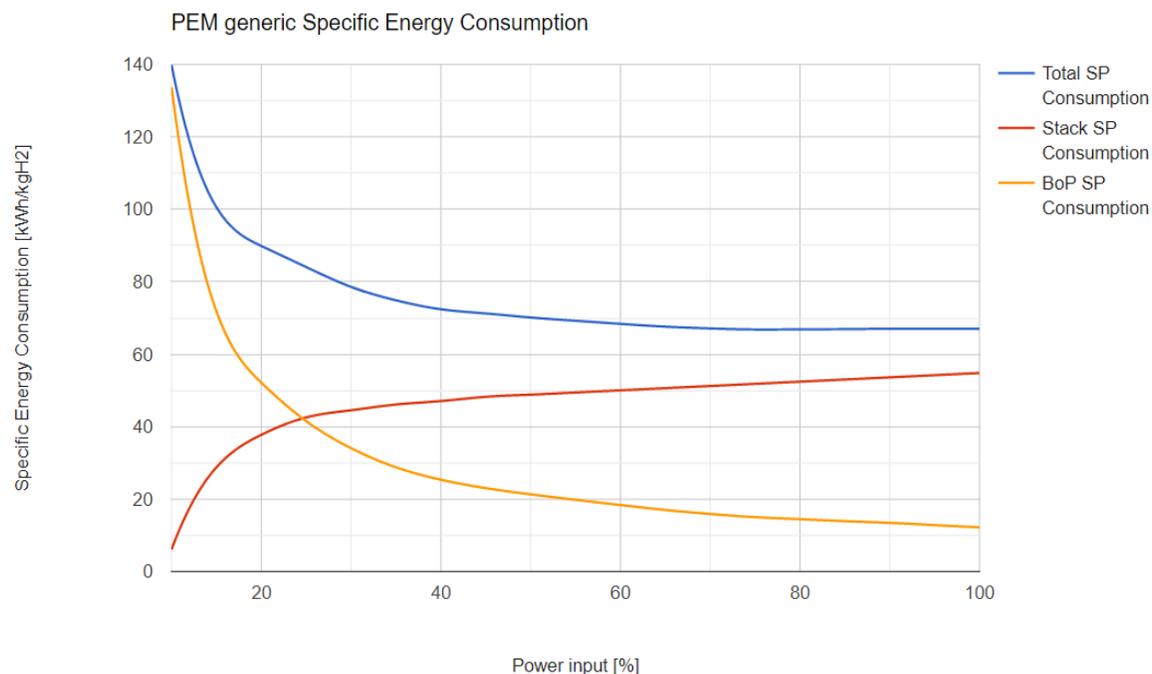


Source: Carlos Bernuy-Lopez, Ramboll

Dependiendo del OEM, los “límites de batería” de la oferta pueden variar e incluir distintos auxiliares dentro del BoP. El BoS siempre está incluido

## 2. Consumo específico de energía

Consumo específico de energía stack y BoP (al comienzo de la vida útil).



Parámetros principales: Potencia, Presión de H2, Temperatura y Degradación

Siempre queremos la más alta precisión en los modelos simulación y análisis de prefactibilidad nuestros modelos.

Cuanto mejor sean los datos, más preciso será el cálculo de LCOH y rentabilidad del proyecto.

Source: Southern Lights software version 1

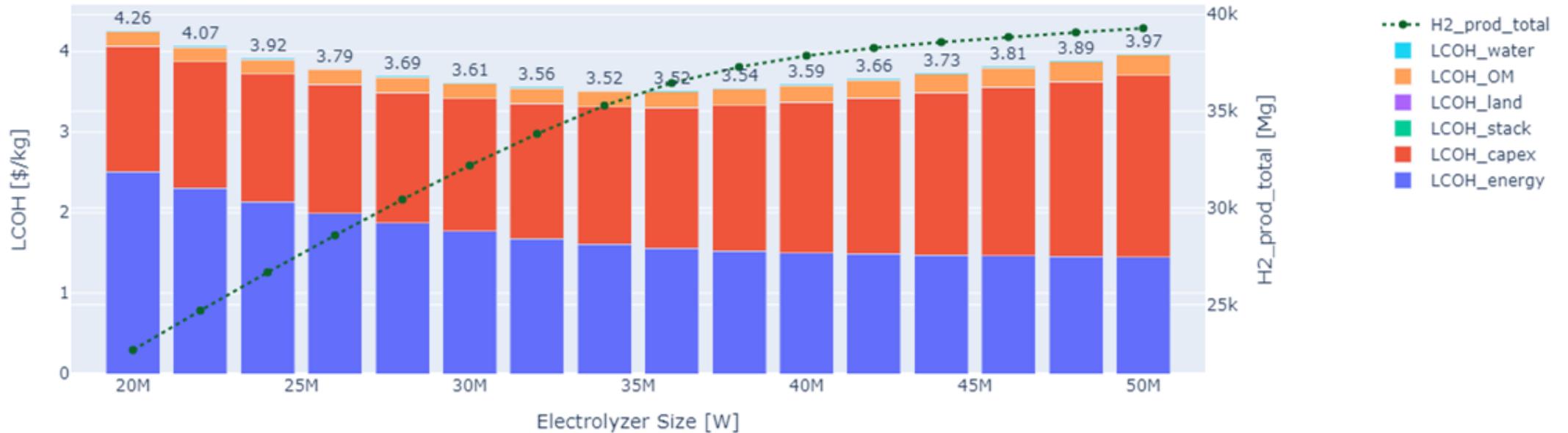
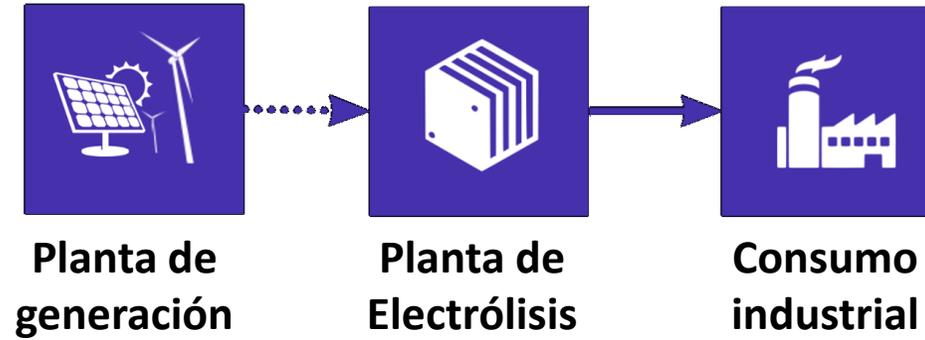
## 2. Parámetros de electrólisis

	ALK		PEM		SOEC	
	Now	Long term	Now	Long term	Now	Long term
Electrical eff. (LHV) [%]	63–70		56–60	67–74	74–81	77–90
Operating pressure [bar]	1–30		30–80		1	
Operating T. [°C]	60–80		50–80		650–1000	
Stack lifetime [1000 op. hours]	60–900	100–150	30–90	100–150	10–30	75–100
Load range (of nominal) [%]	10–110		0–160		20–100	
Plant footprint [m <sup>2</sup> /kW <sub>e</sub> ]	0.095		0.048			
CAPEX [kUSD/kW <sub>e</sub> ]	0.5–1.4	0.2–0.7	1.1–1.8	0.2–0.9	2.8–5.6	0.5–1

Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

## 2. LCOH



Source: Southern Lights software version 1

## 2. Plantas Power to X

¿Cómo dimensionar el tamaño relativo entre componentes?

**Electrolyzer Plant**

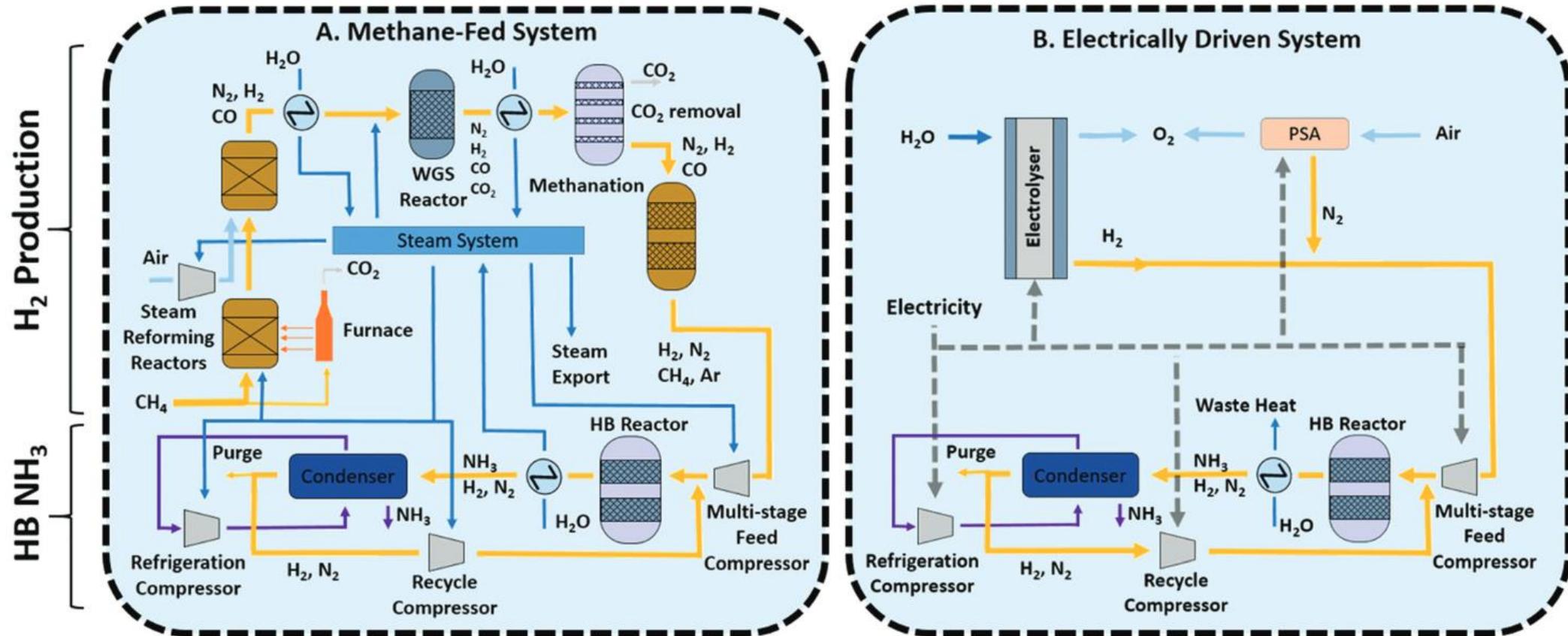
**H2 Storage &  
Compression**

**Haber-Bosch Plant**

**Renewable energy  
assets**

**Ammonia handling  
and distribution**

## 2. Plantas Power to X



Source: Current and future role of Haber–Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape, Collins et al.

## 2. Plantas Power to X



### A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan

Felipe Ignacio Gallardo <sup>a</sup>, Andrea Monforti Ferrario <sup>b,c,\*</sup>, Mario Lamagna <sup>d</sup>, Enrico Bocci <sup>b</sup>, Davide Astiaso Garcia <sup>e</sup>, Tomas E. Baeza-Jeria <sup>f</sup>

<sup>a</sup> H2Chile Chilean Hydrogen Association, Santiago, Chile

<sup>b</sup> Department of Nuclear, Subnuclear and Radiation Physics, Università degli Studi Guglielmo Marconi, Via Plinio 44, Rome, Italy

<sup>c</sup> Centro Interuniversitario di Ricerca Per lo Sviluppo Sostenibile "CIRPS", Piazza U. Pilozzi, Valmontone, Italy

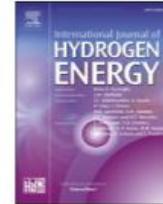
<sup>d</sup> Department of Astronautics, Electric and Energy Engineering, Sapienza University of Rome, Via Eudossiana 18, Italy

<sup>e</sup> Department of Planning, Design, and Technology of Architecture, Sapienza University of Rome, Via Flaminia 72, Rome, Italy

<sup>f</sup> Chilean Solar and Energy Innovation Committee, Agustinas 640, Santiago, Chile

#### HIGHLIGHTS

- Cost-competitive solar hydrogen can be produced in Chile.
- Oversized PV-supplied systems lead to lower LCOH than smaller CSP-supplied systems.
- The LCOH of PV-PPA+ALK can reach 2.20 US\$/kg in 2018 and 1.67 US\$/kg in 2025.
- Storage and transport phases are CAPEX intensive, favoured by flat supply schemes.
- Competitive H<sub>2</sub> can be delivered in Japan in 2018 and 2025 respect to target prices.



COMITÉ CORFO

COMITÉ SOLAR



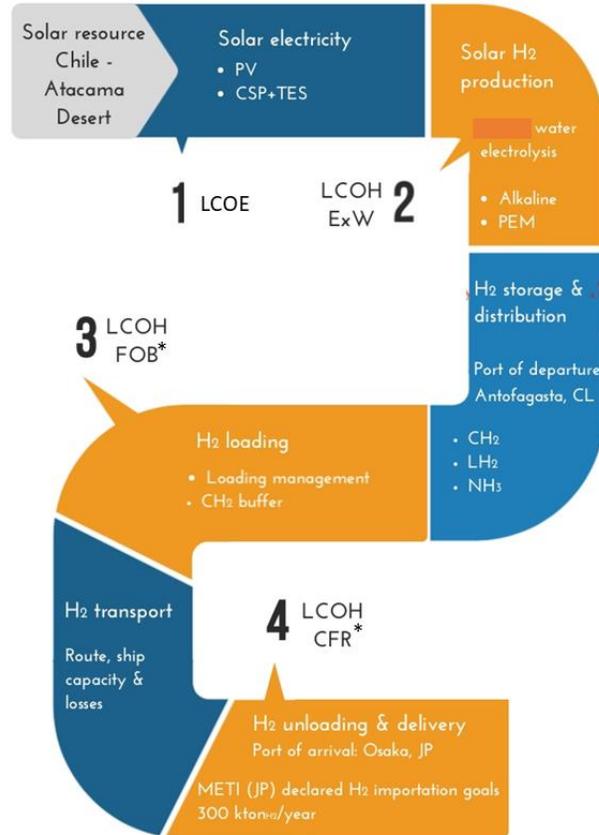
ScienceDirect

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920325842#>

Open Access Licence: free download & share (including commercial use) thanks to **H2 Chile**:  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.050>

# 2. Plantas Power to X

2018 → 2025 (projections)



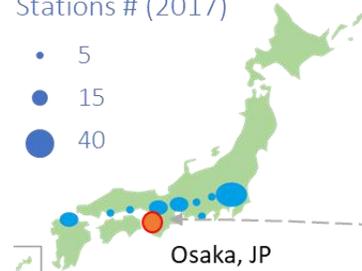
## Why Chile → Japan ?

Previous reports based on Solar H<sub>2</sub> in Chile:

- Tractebel - CORFO 2018.
- Ministerio de Energia - 2019
- CORFO - 2017.
- CORFO - Innov Week 2018
- GIZ - 2018
- ENGIE - 2018

### Hydrogen Refueling Stations # (2017)

- 5
- 15
- 40



Osaka, JP



Pacific Ocean  
17,500 km

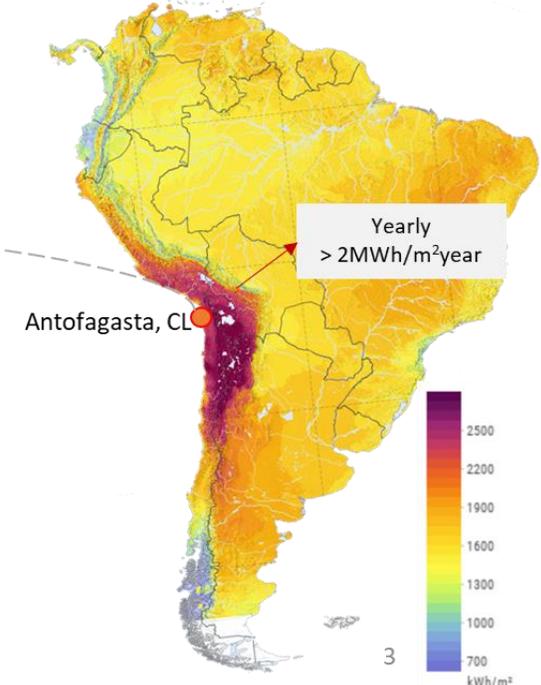
### Strategic Demand

#### Basic Hydrogen Strategy 2030 (METI\*)

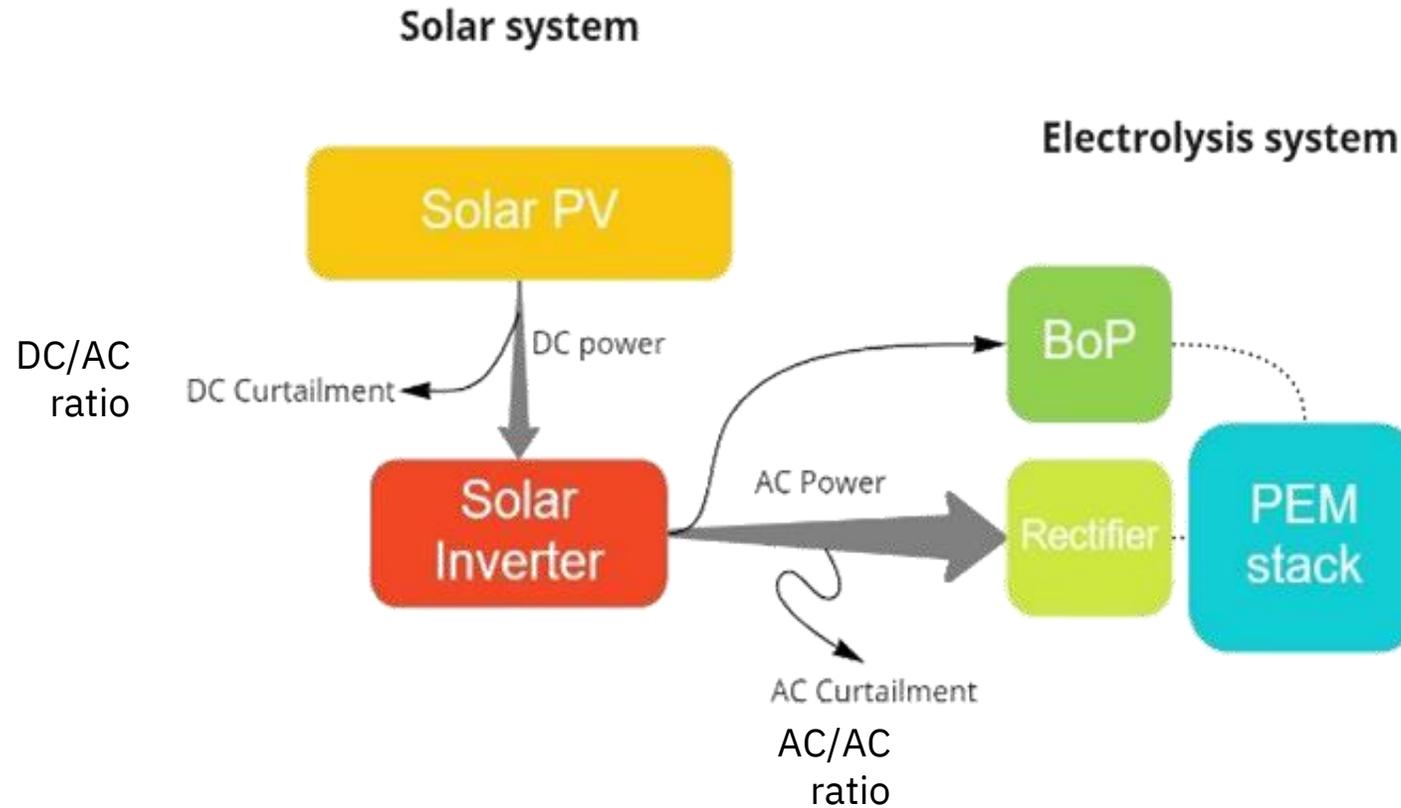
- CO<sub>2</sub> free H<sub>2</sub>: 300 ktonH<sub>2</sub>/year
- Target price 10 → 3 US\$/kgH<sub>2</sub>

\*Ministry of Economy, Trade and Industry

Strategic Solar resource  
>1500 MW<sub>p</sub> installed (2017)  
>2600 MW<sub>p</sub> installed (2019)

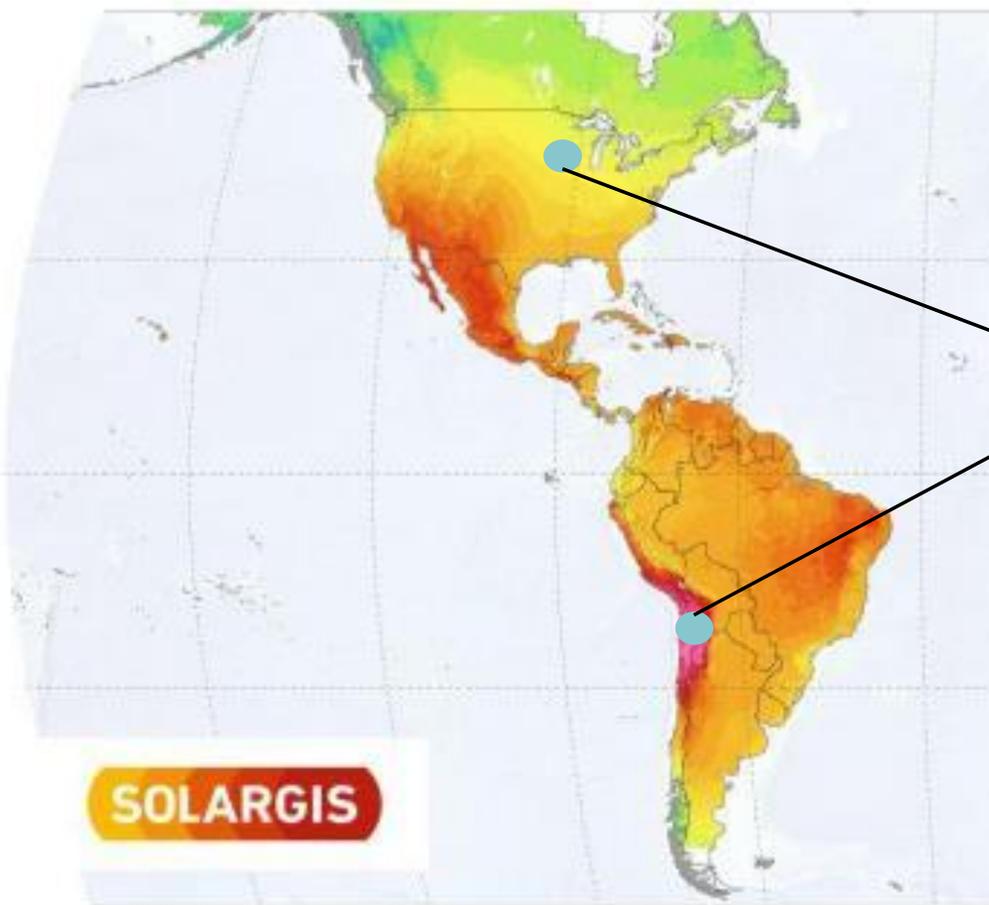


### 3. Diseño de plantas de H2 verde



Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

### 3. Dimensionamiento óptimo

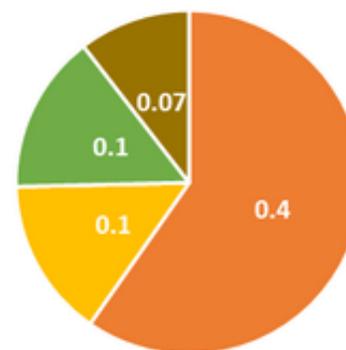


Project case	MW
Solar PV[MW]	27
Inverter [MW]	27 / (DC/AC)
Electrolyzer [MW]	27 / (DC/AC) / (AC/AC)
DC/AC ratio	[ 1 : 2 : 0.1 ]
AC/AC ratio	[ 1 : 2 : 0.2 ]

Location	GHI [kWh/m2-y]	Source TMY
Fargo, ND, USA	1405	NSRDB
Ma Elena, Atacama, CL	2 639	Energy Ministry Chile

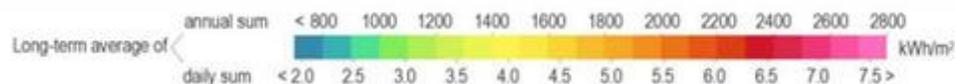
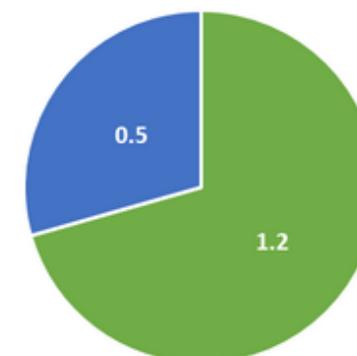
Solar CAPEX [USD/W]

- PV modules
- Solar BoP
- Solar development
- (cost & margin)
- Grid-forming Inverter



PEM CAPEX [USD/W]

- Electrolysis PEM plant
- PEM development



Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

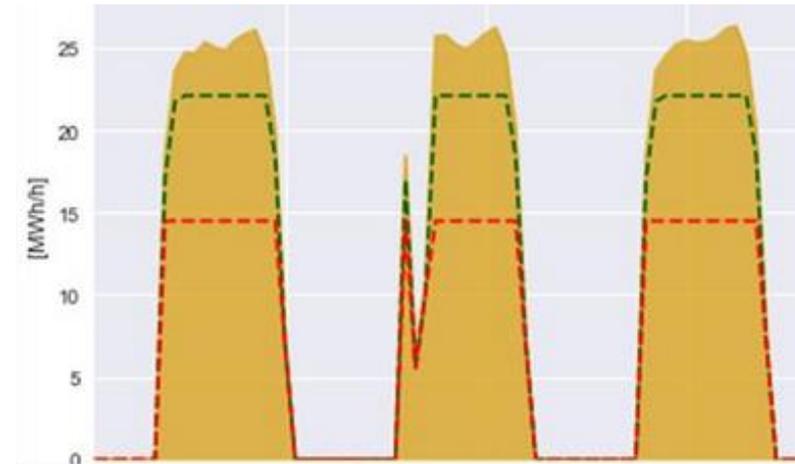
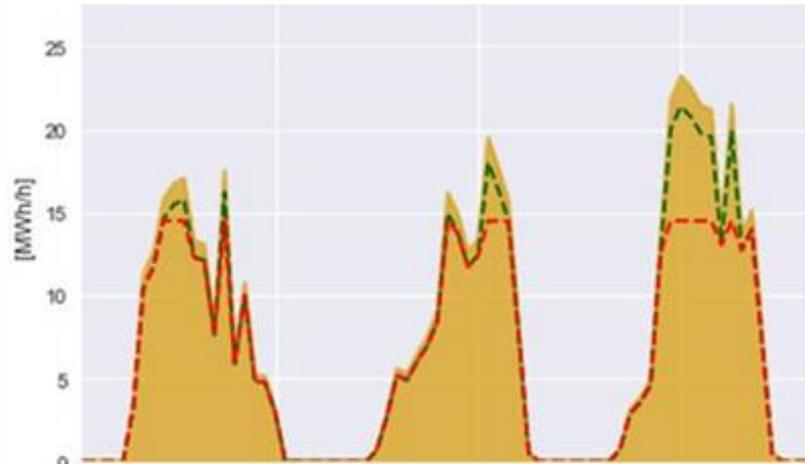
# 3. Dimensionamiento óptimo



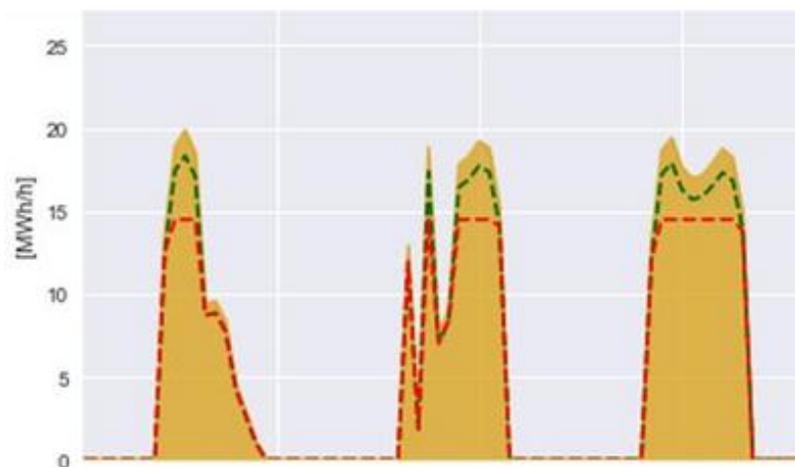
North Dakota

Atacama

Summer Solstice



Winter Solstice

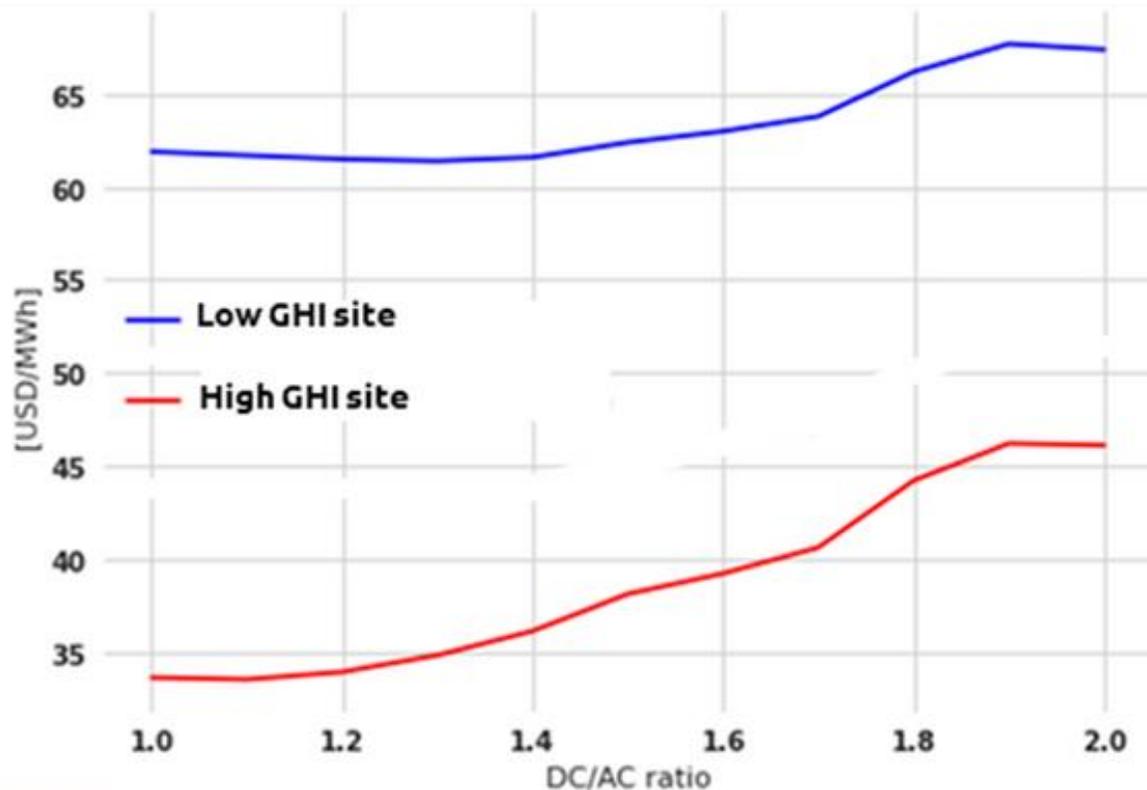


- DC output
- AC output @DC/AC= 1.2
- AC output @DC/AC= 1.8

Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

### 3. Dimensionamiento óptimo



	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
<b>Low GHI site</b>	61.9	61.7	61.5	<b>Min 61.4</b>	61.6	62.4	63.0	63.8	66.2	67.7	67.4
<b>High GHI site</b>	33.6	<b>Min 33.5</b>	33.9	34.8	36.1	38.1	39.2	40.6	44.2	46.2	46.1

Solar resource	Optimal LCOE DC/AC	LCOE [USD/MWh]	Plant factor Years [1 -20] [%]
Low	1.4	61.5	[16 - 18]
High	1.1	33.5	[30- 34]

Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

# 3. Dimensionamiento óptimo

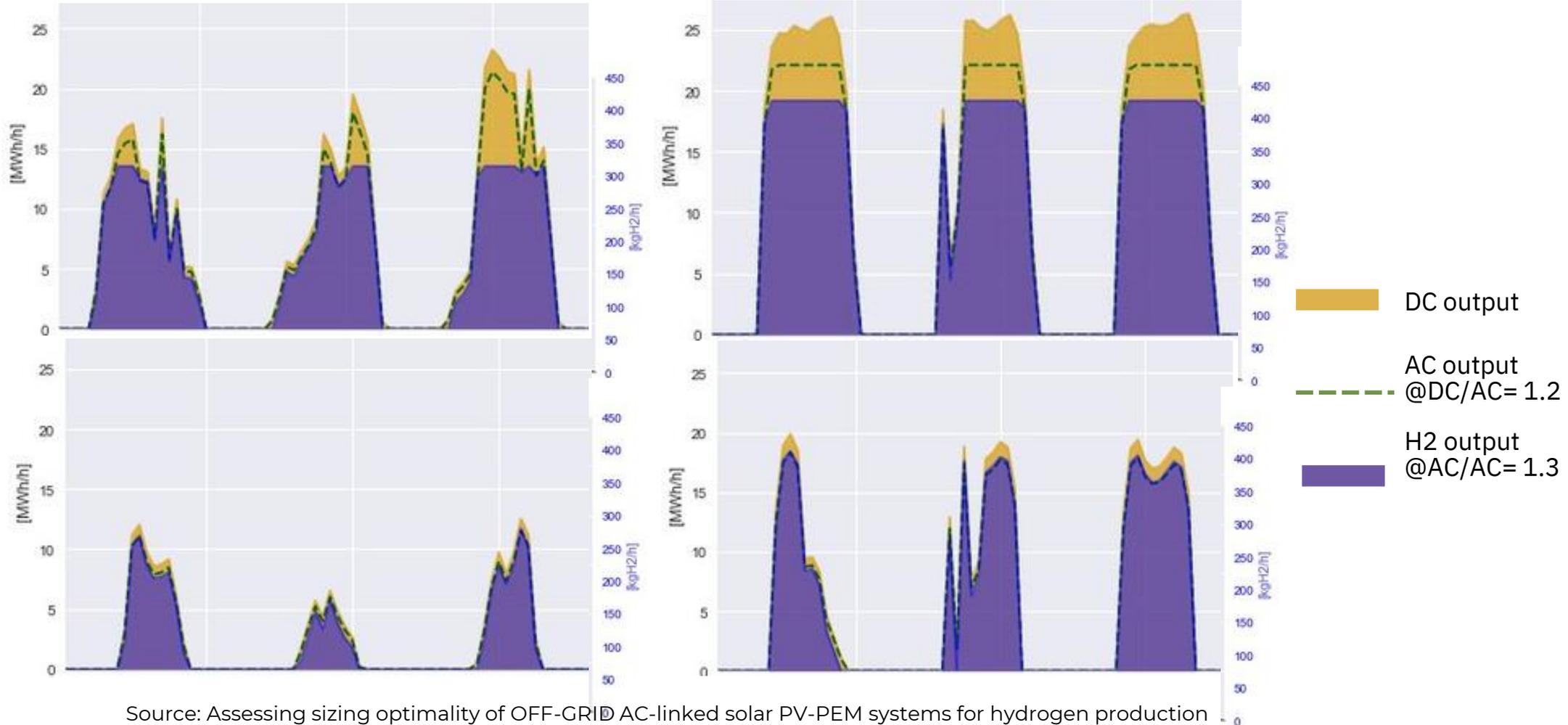


### North Dakota

### Atacama

Summer Solstice

Winter Solstice

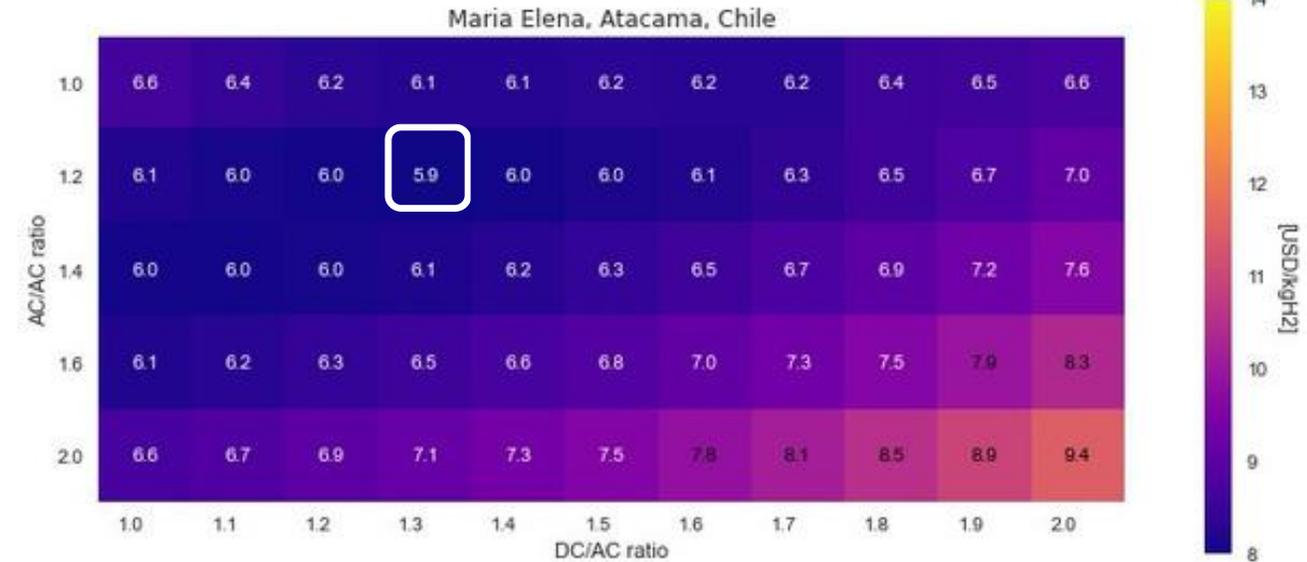
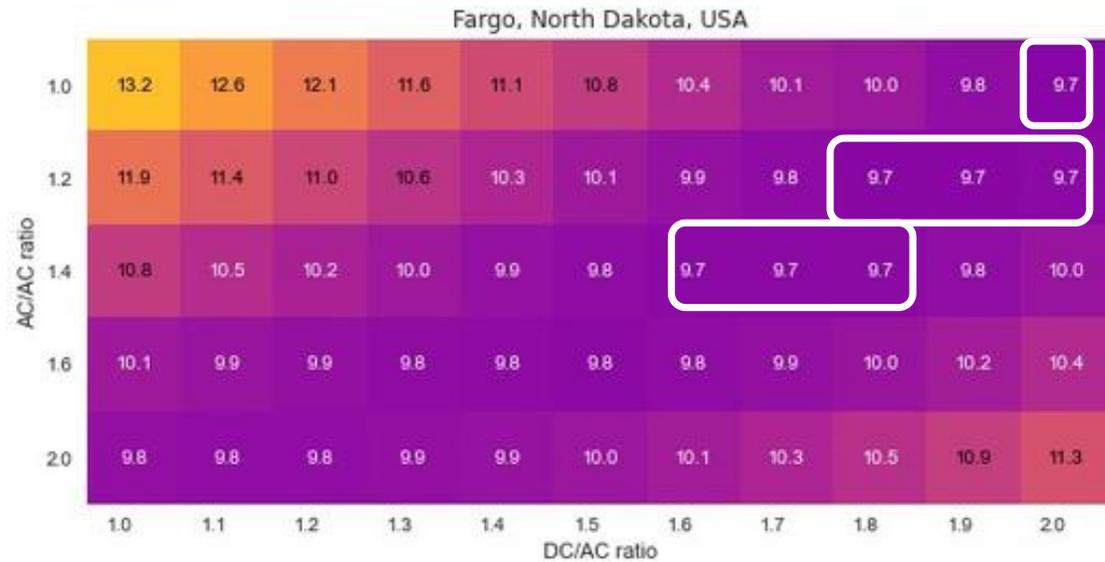


Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

Industria del Hidrógeno Verde: Una mirada más allá de su producción - Septiembre 2023

# 3. Dimensionamiento óptimo



$$LCOH = \frac{NPV_{costs} Total\ system}{\sum_{t=1}^T \frac{H_{2(t)}}{(1+i)^t}}$$

Solar resource	Optimal LCOE-DC/AC	Optimal LCOH-DC/AC	DC/AC difference	Optimal AC/AC	LCOH [USD/kg]
Low	1.4	1.6-2.0	20%-53%	1-1.4	9.7
High	1.1	1.3	18%	1.2	5.9

Source: Assessing sizing optimality of OFF-GRID AC-linked solar PV-PEM systems for hydrogen production

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.098>

### 3. Herramientas de evaluación de proyecto



[www.southernlights.io](http://www.southernlights.io)

Webinar

# Industria del Hidrógeno Verde

Una mirada más allá de la producción

**Felipe Gallardo, CEO Southern Lights**

**[felipe@southernlights.io](mailto:felipe@southernlights.io)**

**Fecha: 6 de septiembre 2023**