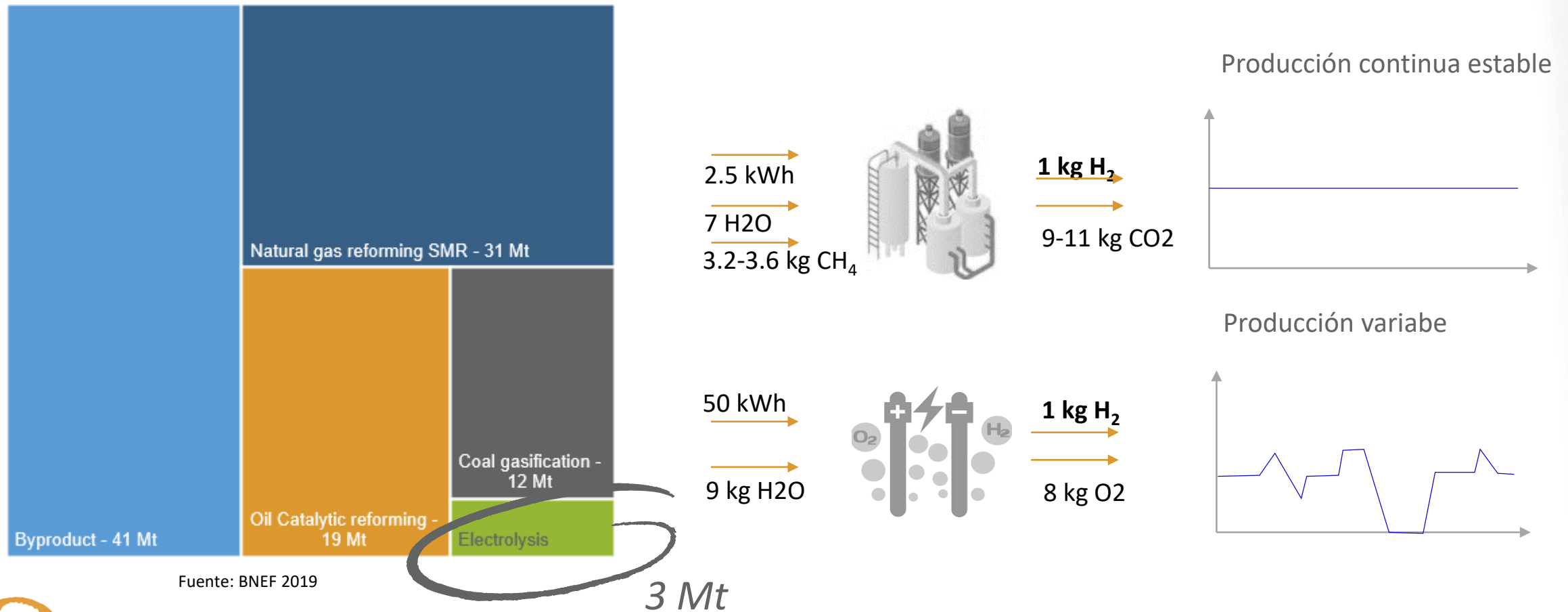


Análisis Técnico Económico para proyectos de Hidrógeno Verde

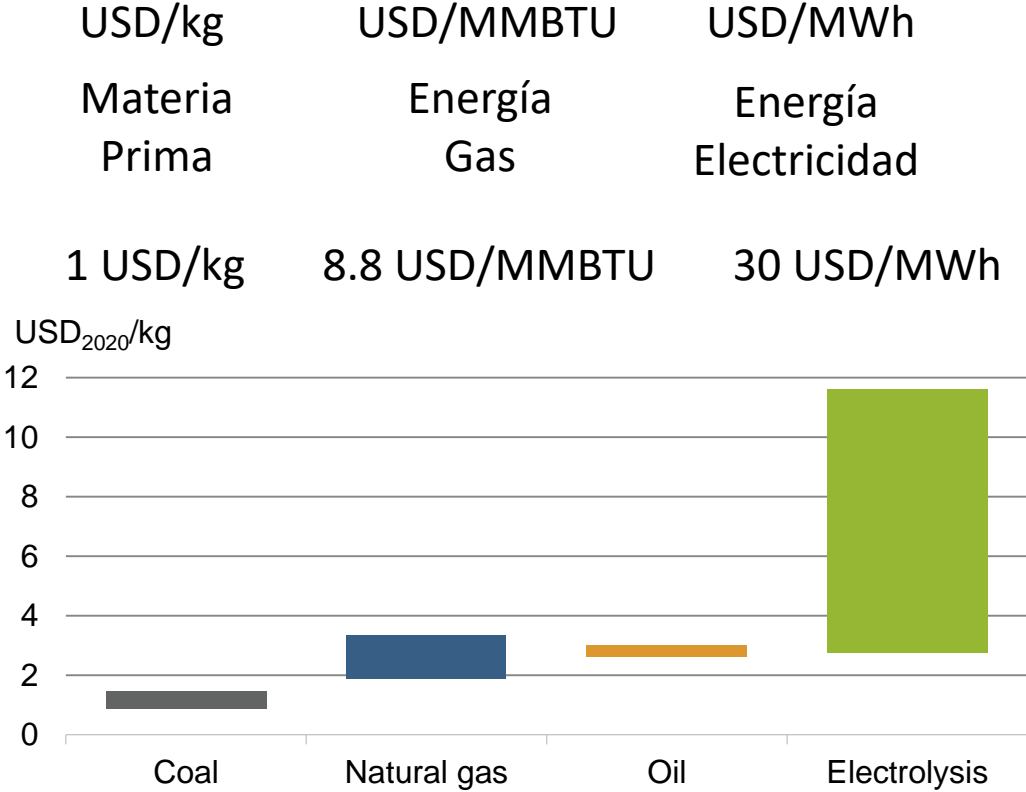
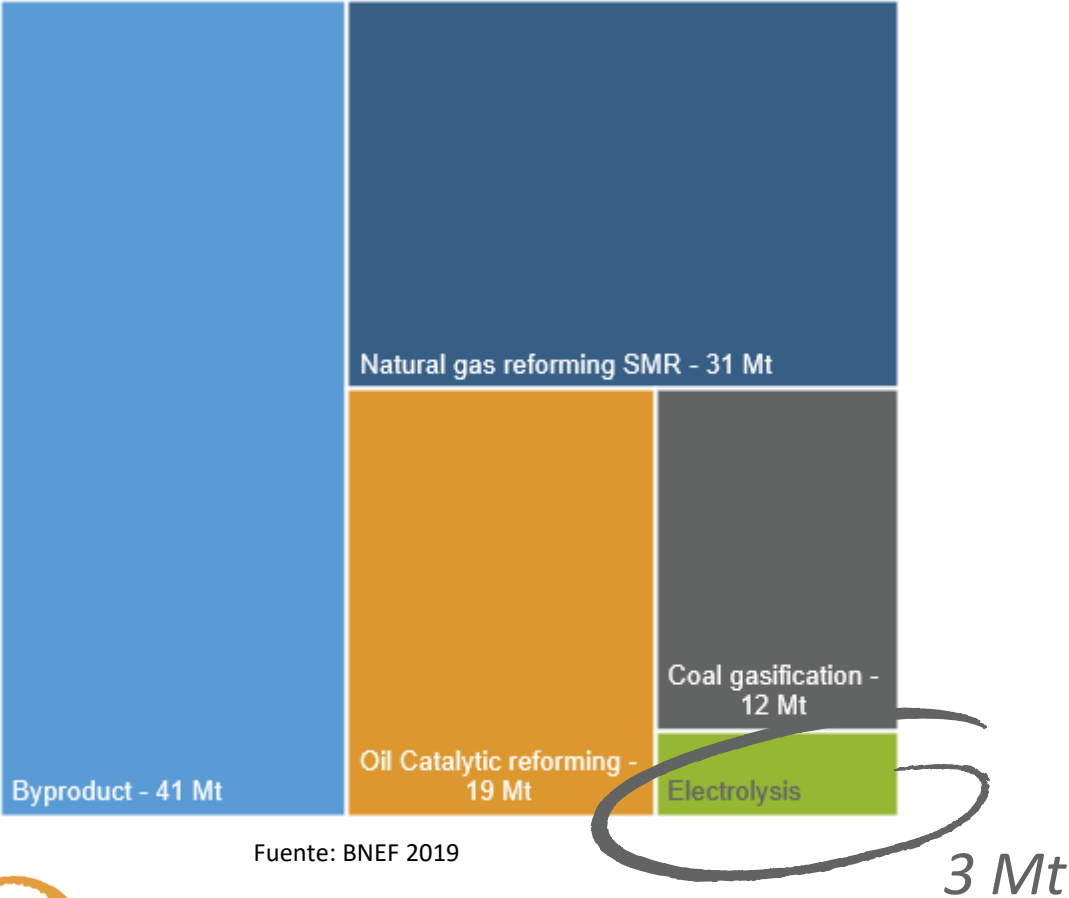
Juan Pablo Zúñiga
Director Ejecutivo H2 Chile



El hidrógeno producido por electrólisis representa solo un 3% de la producción global



En la actualidad, el hidrógeno se utiliza mayormente en la industria química y es por esa razón que se utiliza la unidad de masa

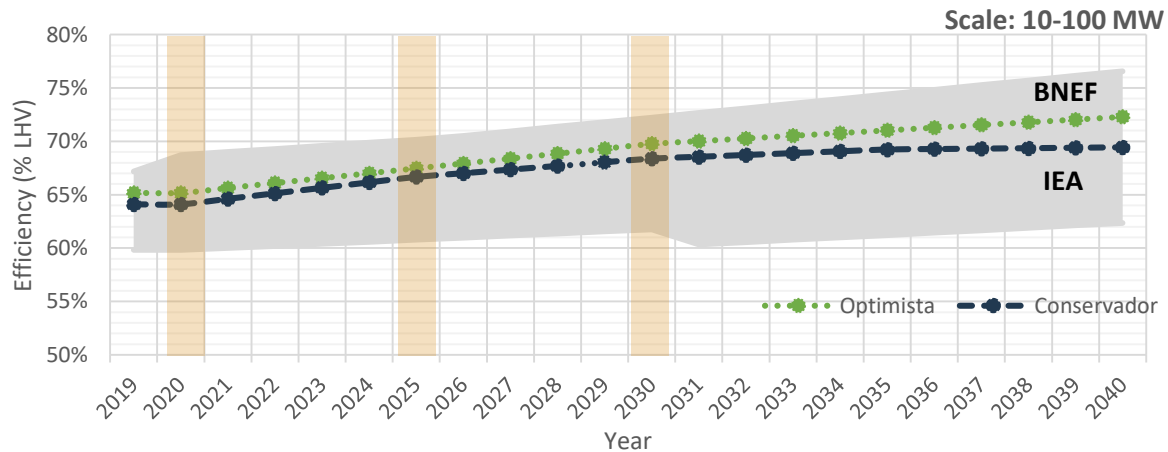
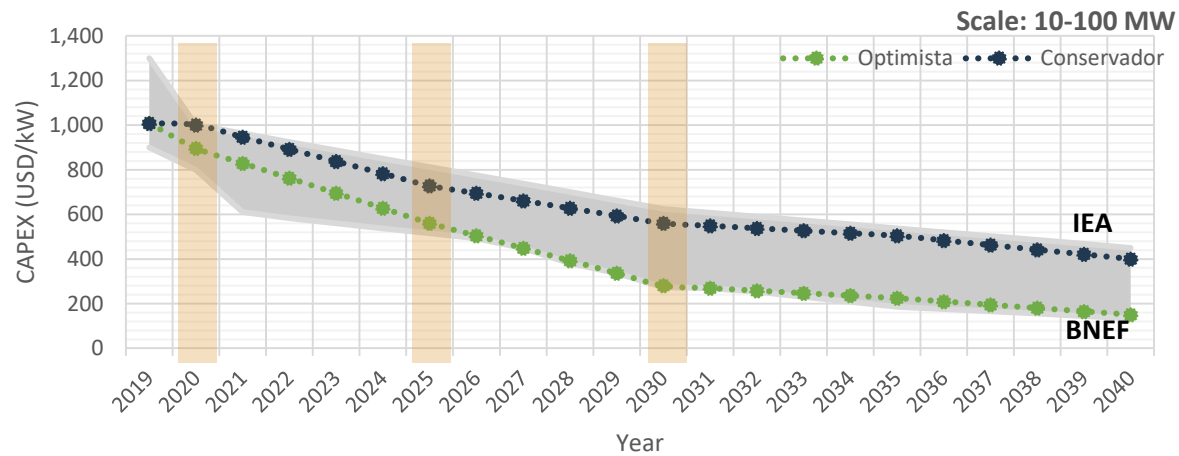


Un kg de H₂ contiene más energía que un kg de gasolina

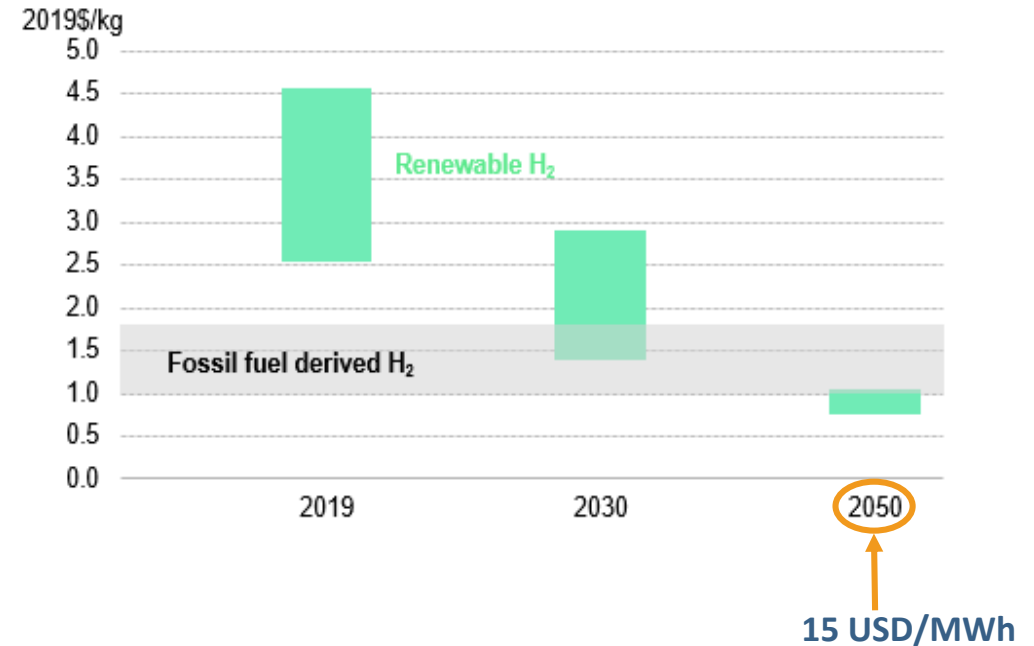
La razón
agua/hidrógeno
es aprox 10:1

Hidrógeno requerido [kg]	Aplicación
5 kg	Toyota Mirai FC
25 kg	Toyota Sora FC Bus
350 kg	Capacidad promedio de 1 estación de recarga
3.3 t	Energía equivalente a la batería más grande del mundo (Hornsedale)
106 t	La capacidad del tanque del shuttle espacial
392 t	La energía equivalente a la central de bombeo hidráulico más grande de Japón
500 t	Requerimiento promedio de una planta de amoníaco estándar (2,250 tNH ₃ /d)
10000 t	Capacidad de almacenamiento de una caverna de sal grande
100000 t	Capacidad de almacenamiento de un pozo de gas natural grande
36000000 t	Capacidad de almacenamiento en las redes de gas natural de estados unidos

BNEF proyecta una disminución agresiva de los costos facilitada por la manufactura China



Fuente: H2 Chile



Fuente: BloombergNEF

En Chile, para sistemas *on-grid* el costo de producción de H₂ ronda los 4–5 USD/kg. En sistemas off-grid: 2.5-4.0 USD/kg

2020 → 800 \$/kW

2025 → 500 \$/kW

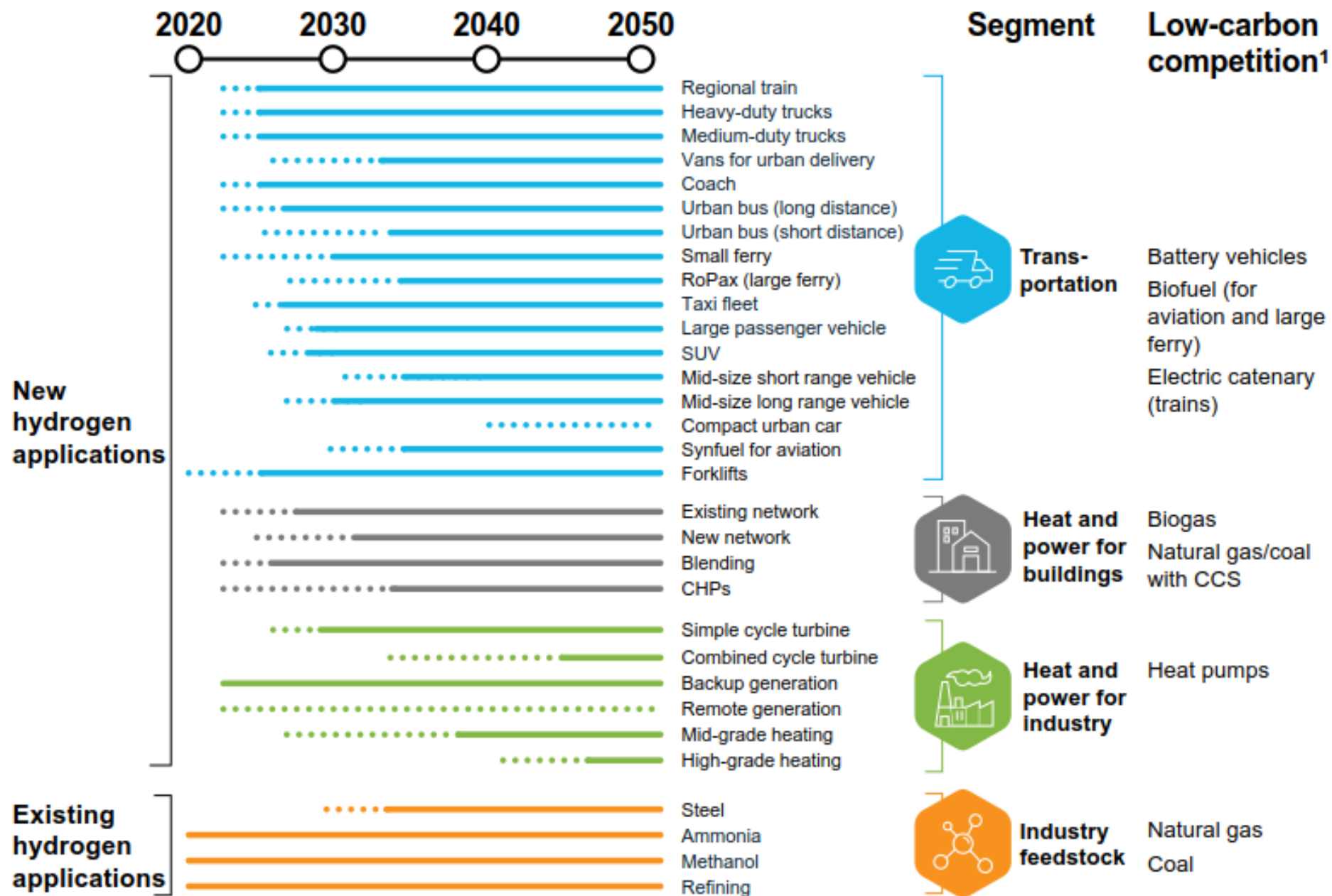
2030 → 250 \$/kW

Electricity price \$/MWh	Load factor										Load factor										Load factor									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0	6.1	3.1	2.1	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	3.8	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	1.9	1.0	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
10	6.7	3.7	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	4.4	2.5	1.9	1.6	1.4	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	2.5	1.6	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
20	7.3	4.2	3.2	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8	5.0	3.1	2.5	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	3.1	2.1	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
30	7.9	4.8	3.8	3.3	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	5.6	3.7	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	3.7	2.7	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9
40	8.4	5.4	4.4	3.9	3.6	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	6.2	4.3	3.6	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	4.3	3.3	3.0	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5
50	9.0	6.0	5.0	4.4	4.1	3.9	3.8	3.6	3.5	3.5	6.7	4.8	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	4.8	3.9	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1
60	9.6	6.5	5.5	5.0	4.7	4.5	4.3	4.2	4.1	4.0	7.3	5.4	4.8	4.5	4.2	4.1	4.0	3.9	3.9	3.8	5.4	4.5	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6
70	10.2	7.1	6.1	5.6	5.3	5.1	4.9	4.8	4.7	4.6	7.9	6.0	5.4	5.0	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.4	6.0	5.0	4.7	4.6	4.4	4.4	4.3	4.3	4.2	4.2
80	10.7	7.7	6.7	6.2	5.8	5.6	5.5	5.3	5.2	5.2	8.5	6.6	5.9	5.6	5.4	5.2	5.1	5.1	5.0	4.9	6.6	5.6	5.3	5.1	5.0	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8
90	11.3	8.3	7.3	6.8	6.4	6.2	6.0	5.9	5.8	5.7	9.0	7.1	6.5	6.2	6.0	5.8	5.7	5.6	5.6	5.5	7.1	6.2	5.9	5.7	5.6	5.5	5.4	5.4	5.4	5.3

On grid

Fuente: H2 Chile

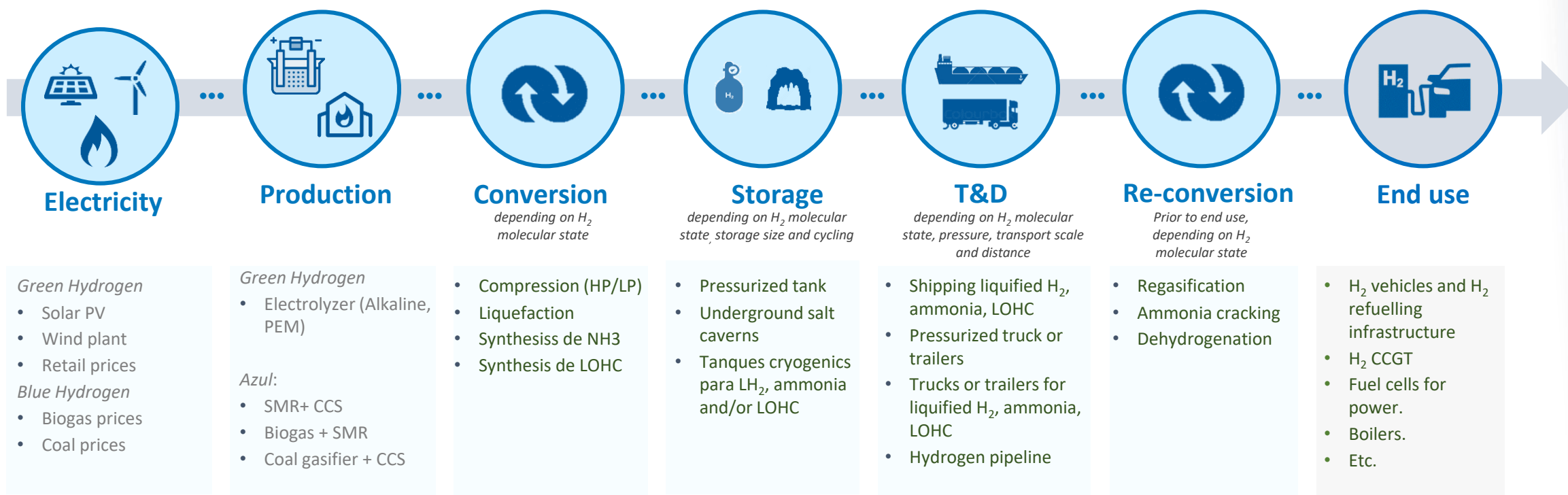
En el mediano plazo,
el H₂ será la
alternativa cero
emisiones para
diversas aplicaciones
en Chile
(< 2,5 USD/kg)



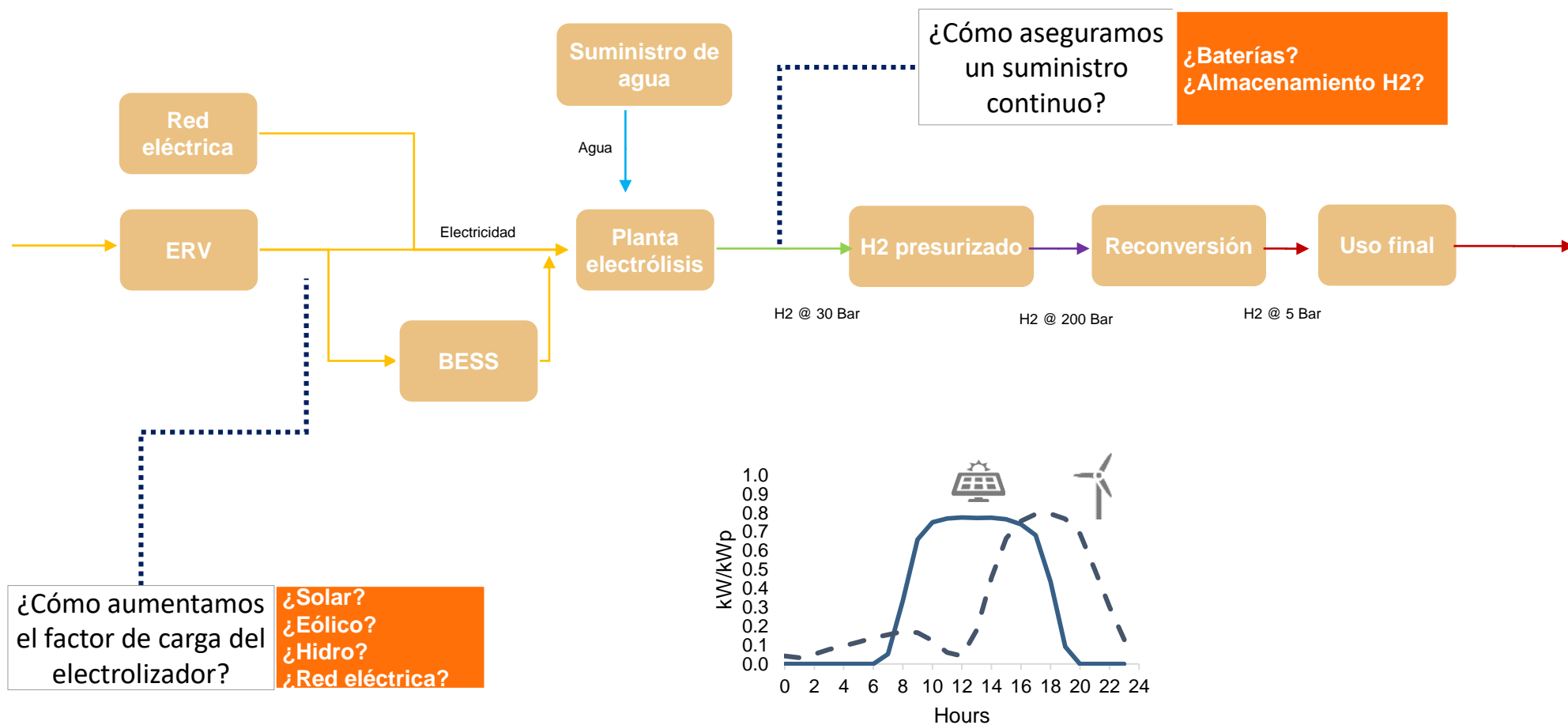


¿CÓMO EVALUAMOS TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE
UN PROYECTO DE HIDRÓGENO VERDE?

Con la producción de H₂ verde la decisión sobre las tecnologías resulta más compleja



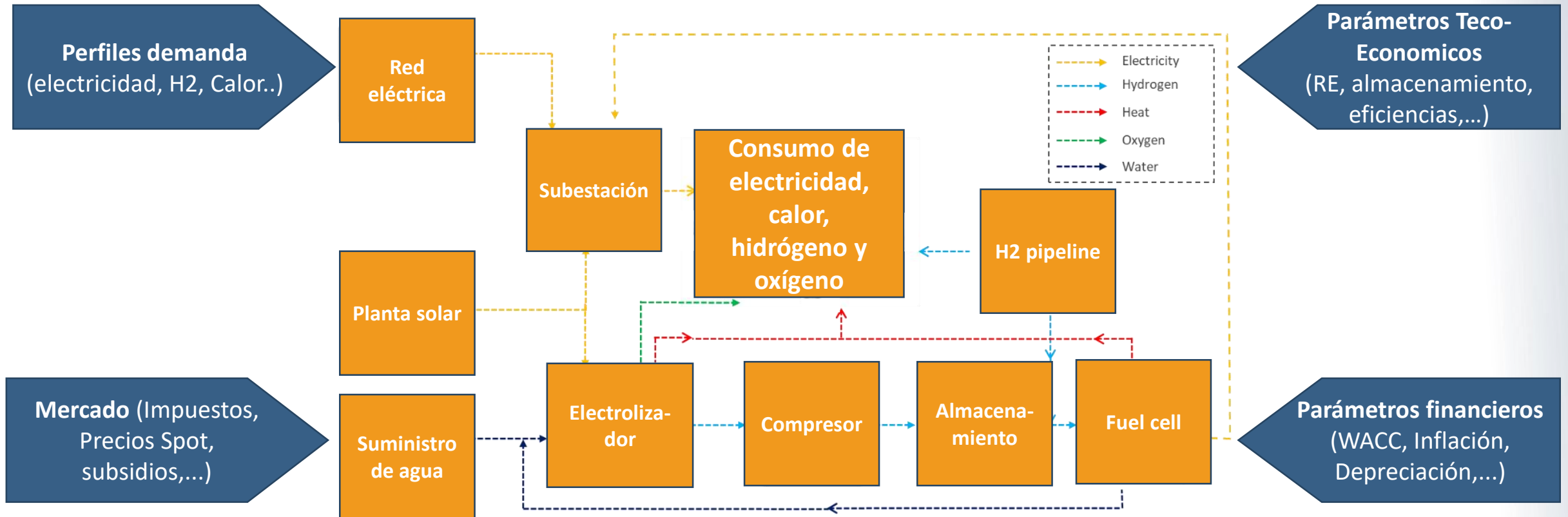
Se presenta el desafío de escoger y dimensionar tecnologías





¿CÓMO DIMENSIONAMOS LA CADENA DE VALOR Y
LOGRAMOS EL MENOR COSTO DE H2 VERDE PARA
NUESTRO PROYECTO?

Mediante una optimización energética multifluido



Se debe minimizar el LCOH considerando todas las variables que tengan influencia durante la vida útil del proyecto

Perfiles demanda
(electricidad, H2, Calor..)

Parámetros Tecno-
Economicos
(RE, almacenamiento,
eficiencias,...)

$$LCOH = \frac{NPV_{Cost}}{NPV_H} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t + O_t + V_t}{(1 + d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{H_t}{(1 + d)^t}}$$

Mercado (Impuestos,
Precios Spot,
subsidiros,...)

Parámetros financieros
(WACC, Inflación,
Depreciación,...)

Es fundamental conocer qué parámetros utilizar para cada tecnología para obtener un buen resultado



	2016
1/1/2016 0:00	0
1/1/2016 1:00	0
1/1/2016 2:00	0
1/1/2016 3:00	0
1/1/2016 4:00	0
1/1/2016 5:00	0
1/1/2016 6:00	0
1/1/2016 7:00	108.46
1/1/2016 8:00	366.85
1/1/2016 9:00	629.82
1/1/2016 10:00	853.71
1/1/2016 11:00	1017.96
1/1/2016 12:00	1108.93
1/1/2016 13:00	1119.53
1/1/2016 14:00	1048.75
1/1/2016 15:00	902.29
1/1/2016 16:00	692.08
1/1/2016 17:00	436.87
1/1/2016 18:00	166.14
1/1/2016 19:00	11.21
1/1/2016 20:00	0
1/1/2016 21:00	0
1/1/2016 22:00	0
1/1/2016 23:00	0
1/2/2016 0:00	0
1/2/2016 1:00	0
1/2/2016 2:00	0
1/2/2016 3:00	0
1/2/2016 4:00	0
1/2/2016 5:00	0
1/2/2016 6:00	0

Básicos

PARÁMETROS GENERALES

Año de referencia	2020
WACC	% real
Duración proyecto	años
Inflación	%/año
Impuestos	
FiT	
Precio de agua	USD/m3

PV SAT

CAPEX	USD/kWp
OPEX	USD/kWp/año
Degradacion	%/año
DC/AC	-
GCR	Ha/MWp
Vida útil	años

EÓLICO

CAPEX	USD/kW
OPEX	USD/kW/año
Footprint	Ha/MW
Vida útil	años

MERCADO

Electricidad	US/MWh
PPA Verde	US/MWh

BATERÍA

CAPEX	USD/kW
CAPEX	USD/kWh
OPEX	USD/kWh/año
Eficiencia	%
DoD	%
Degradación	%/año
Vida útil	ciclos/años

ELECTROLIZADOR

CAPEX	USD/kW_el
OPEX	USD/kW_el/y
Reemplazo stack	% CAPEX
Vida útil stack	horas
Consumo de energía	kWh/kg_H2
Degradación	%/año
Consumo agua potable	L/kg H2
Vida útil BoP	años

ALMACENAMIENTO

CAPEX	USD/kg H2
OPEX	USD/kg H2/año
Presión	bar
Espesor	mm
Vida útil	años

CELDA DE COMBUSTIBLE

CAPEX	USD/kW_el
OPEX	%
Eficiencia eléctrica	%
Eficiencia térmica	%
Overall efficiency	%
Vida útil	horas
Reemplazo Stack	% CAPEX

COMPRESORES

CAPEX	USD/(kg h2/h)
OPEX	USD/(kgh2/h)/año
Consumo eléctrico	kg_H2 / kWh_el
Vida útil	años

Específicos

Industria

Amoníaco
Metanol
Peróxido de hidrógeno
Acero

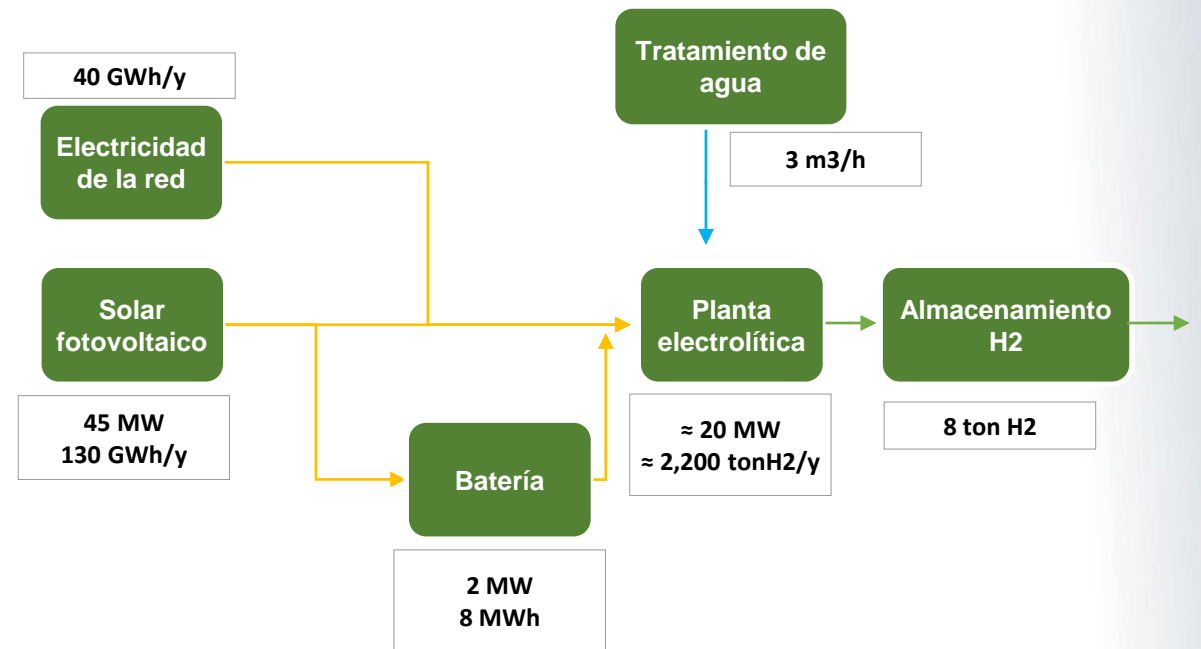
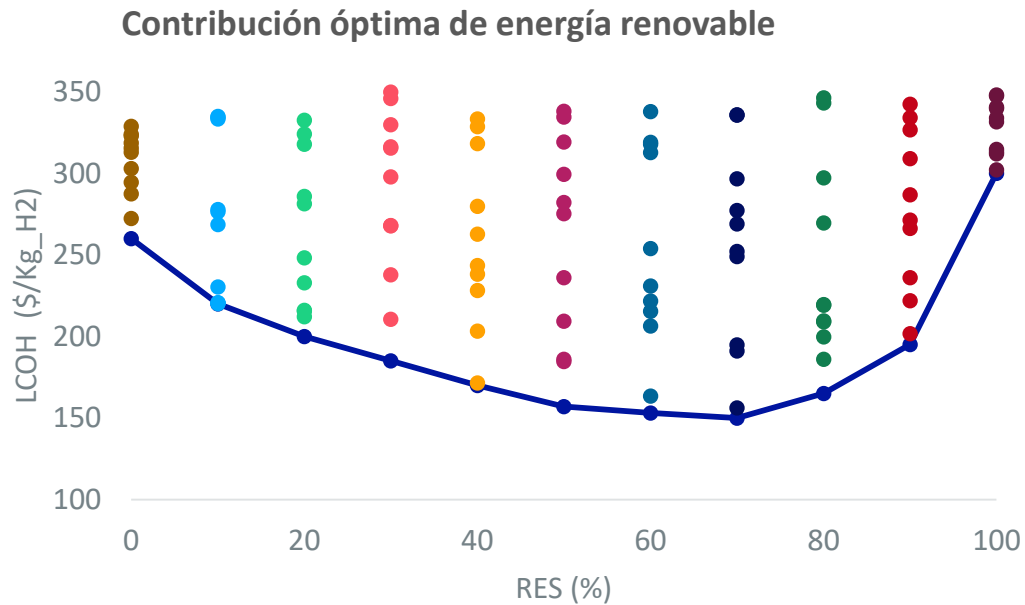
Movilidad

Compresores
Refrigeración
Estación de recarga
Dispensadores

Energía

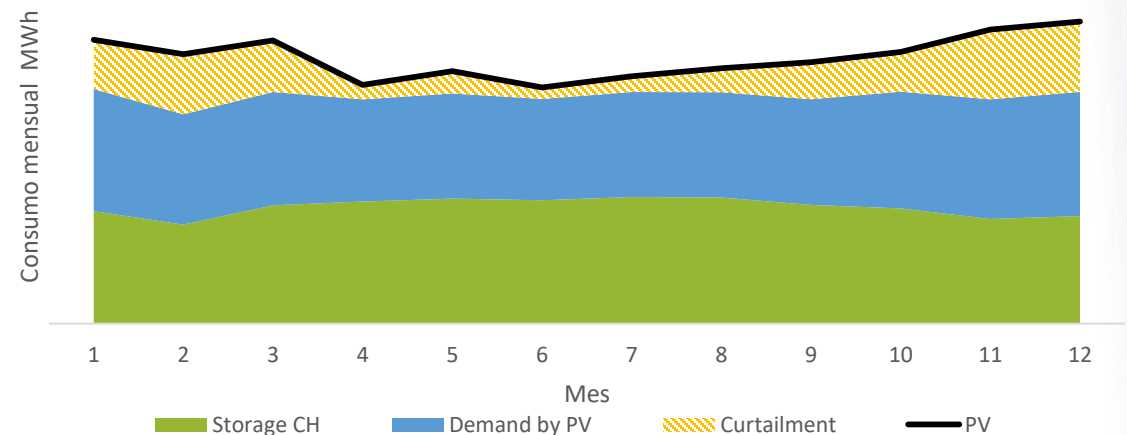
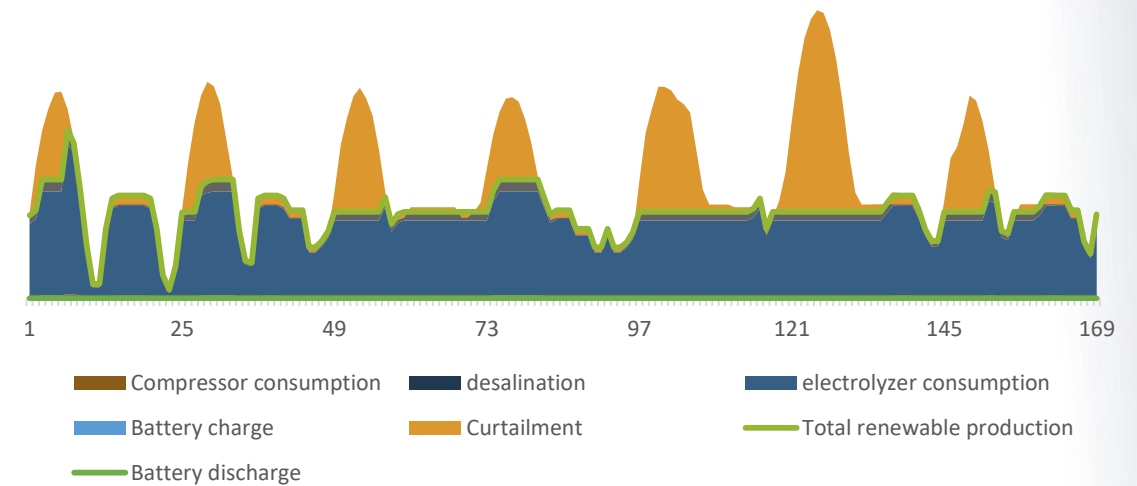
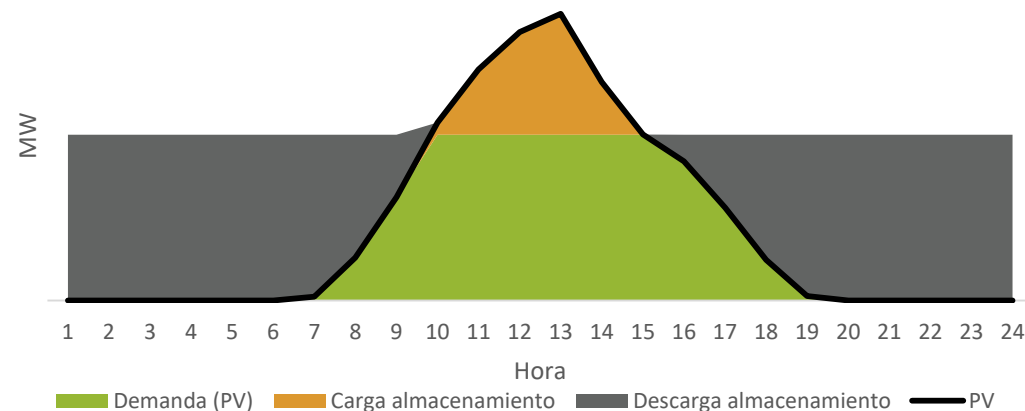
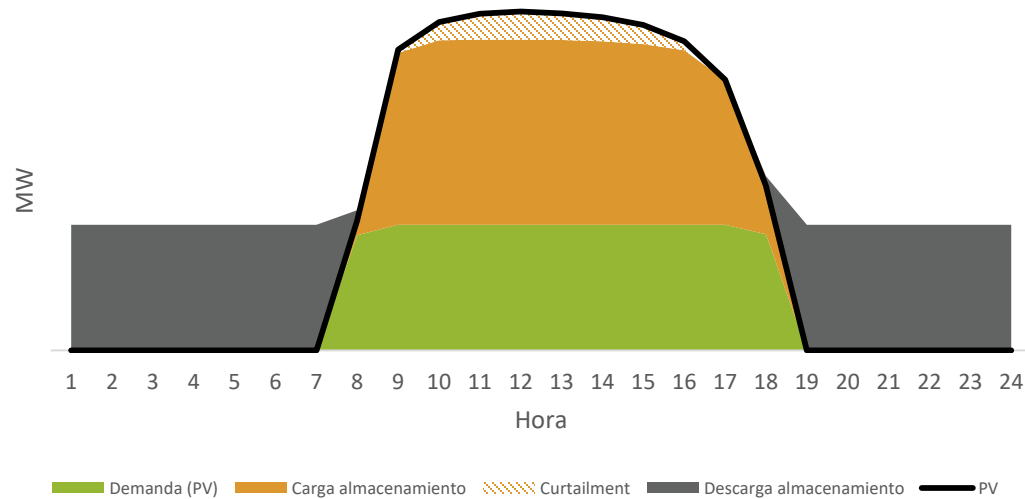
Celda de combustible
Turbina
Motor
LCOE/LCOHeat

El porcentaje óptimo de fuentes renovables es un resultado de la optimización y determinará el dimensionamiento del sistema

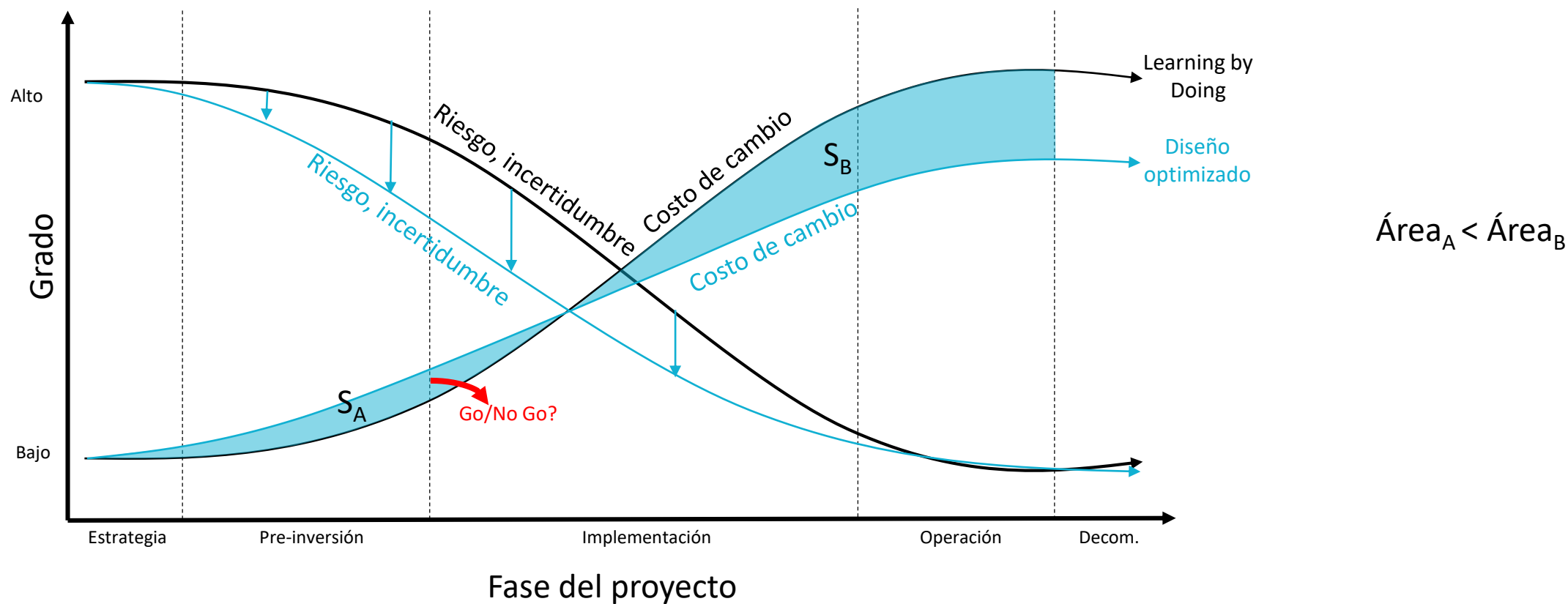


Fuente: H2 Chile

El análisis de series de tiempo es fundamental para entender como operará el sistema



Se recomienda estudiar el diseño del proyecto en las etapas tempranas para optimizar el sistema y disminuir los costos





GRACIAS

Juan Pablo Zúñiga
 Director Ejecutivo H2 Chile
juan.zuniga@h2chile.com