

Hidrógeno en el Uruguay – Aportes desde la academia

Ana Inés Torres

Department of Chemical Engineering
Carnegie Mellon University

Academia Nacional de Ingeniería - Uruguay, 8 de junio 2022

Historia Personal



Facultad de Química
Ayudante de Investigación



Ingeniera R&D

1998

2001

2005

2006

2007



Investigadora Postdoctoral
Consultora Externa



2016

2017

2022

Carnegie
Mellon
University



Especialización: Diseño y
Optimización de Procesos



PhD Ingeniería
Química



Instituto de Ingeniería Química
Grupo de Ingeniería de Sistemas Químicos y de Procesos
Prof. Adjunto

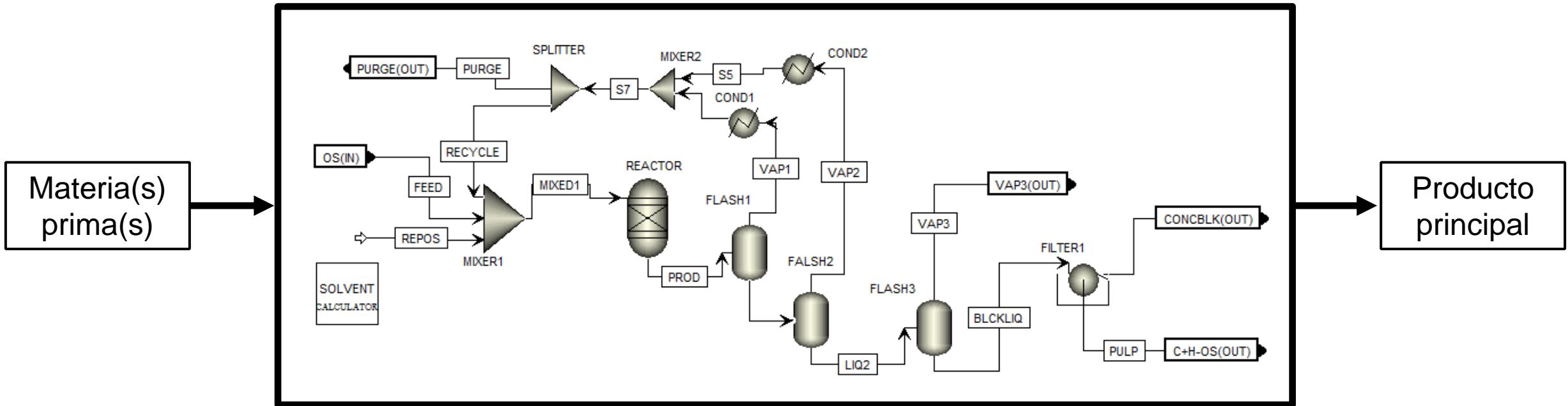
Prof. Adjunto G3DT
Prof. Adjunto

Doctorado M. Corengia:

"Biomass to Chemicals: Design and optimization
of processes for the production of 5-HMF"
(P. Daoutidis, M. Tsapatsis)

Diseño de procesos I

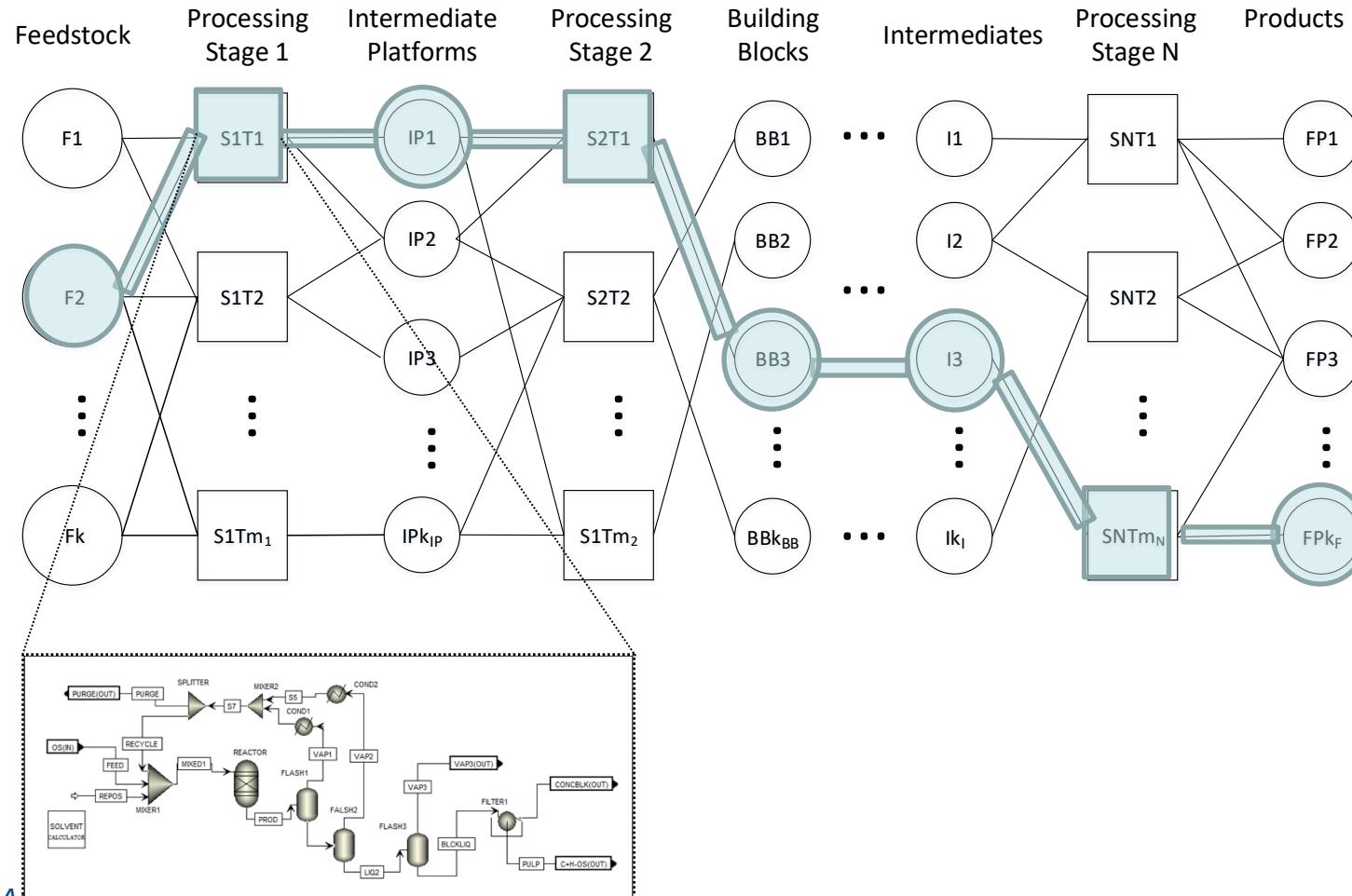
- Ciclo: Síntesis, modelado, simulación, evaluación, optimización



- Síntesis: selección de operaciones y conexiones
- Modelado y simulación: BM y BE
- Evaluación: Selección de indicador (económico)
- Optimización: operación, diseño

Diseño de procesos II

- Si varias materias primas, tecnologías, productos: Superestructura (Red)



○ Nodos Intermediarios

□ Nodos Tecnología

$$\min_{x,y} f(x,y) \quad \text{Indicador}$$

$$s.t. \quad h(x,y) = 0 \\ g(x,y) \leq 0 \quad \left. \right\} \text{Restricciones: BM BE}$$

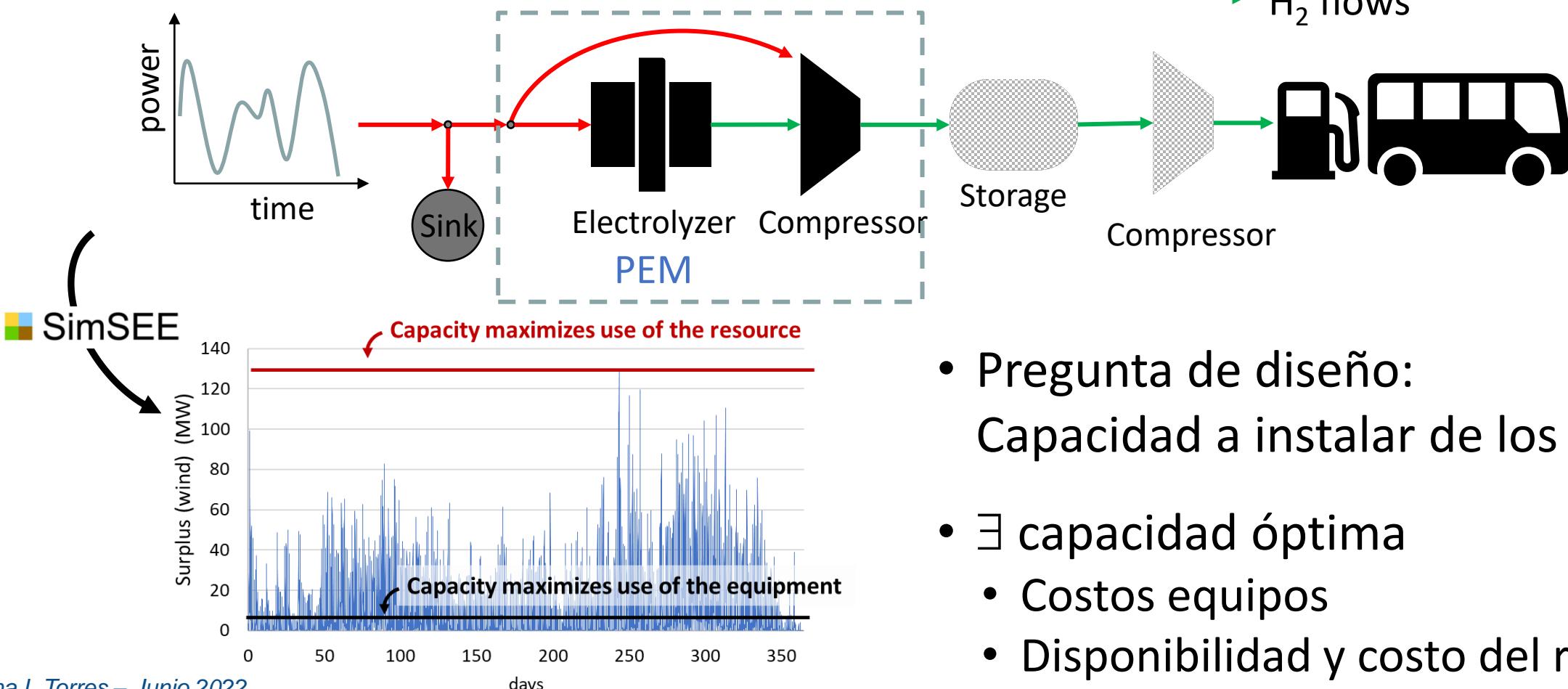
$$F_i \leq F_i^{av}$$

$$FP_j = FP_j^{de}$$

Producción de H₂ verde

- A partir de excedentes de energía eléctrica

(Corengia et al, *Computer Aided Chem. Eng.*, 2018)



- Pregunta de diseño:
Capacidad a instalar de los equipos
- Ǝ capacidad óptima
 - Costos equipos
 - Disponibilidad y costo del recurso

H_2 -verde CASO 1: EXCEDENTES \rightarrow PEM \rightarrow H_2 combustible⁽¹⁾

Problemas de optimización :

- **Función objetivo**

1. max VAN para $\$H_2$ objetivo
2. max uso excedente para $\$H_2$ objetivo ($VAN \geq 0$)
3. min $\$H_2$ para producción H_2 objetivo

- **Restricciones:**

- $\dot{m}_{H_2,t} \leq IC_{H_2}$
- $\dot{p}_{H_2,t} + \dot{p}_{comp,t} \leq \dot{p}_{surplus,t}$
- $CAPEX(IC_{H_2}) \& OPEX(IC_{H_2})$

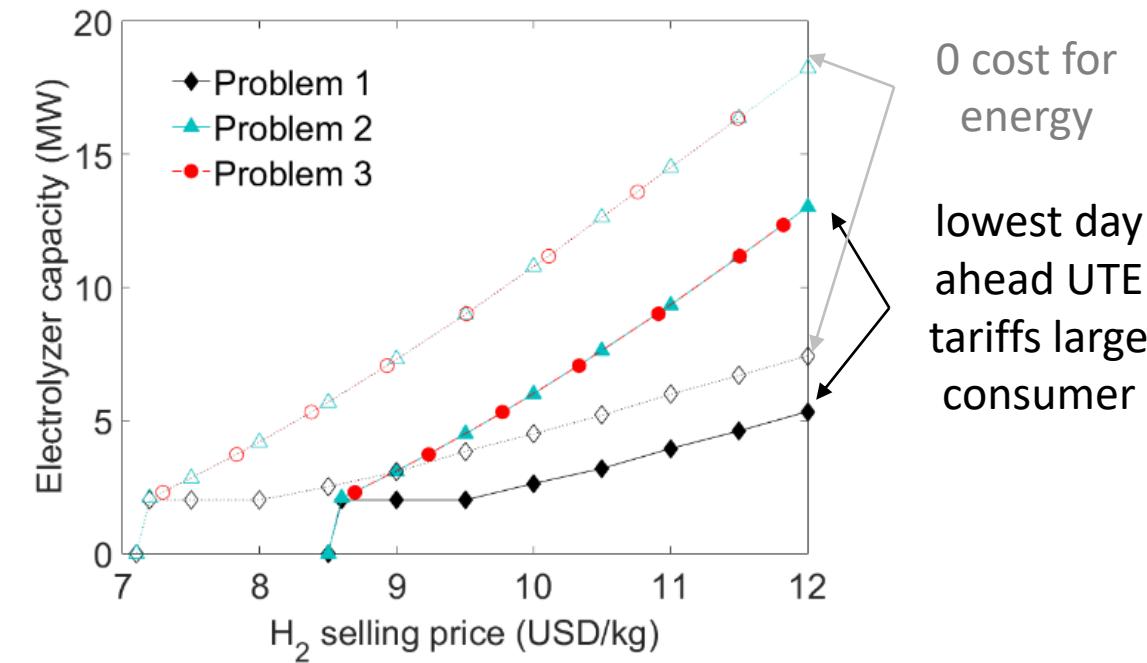
- **DV:** IC_{H_2} , modo de operación

- Problemas LP, GAMS-CPLEX

- (MILP $IC_{H_2} < 2\text{MW}$)

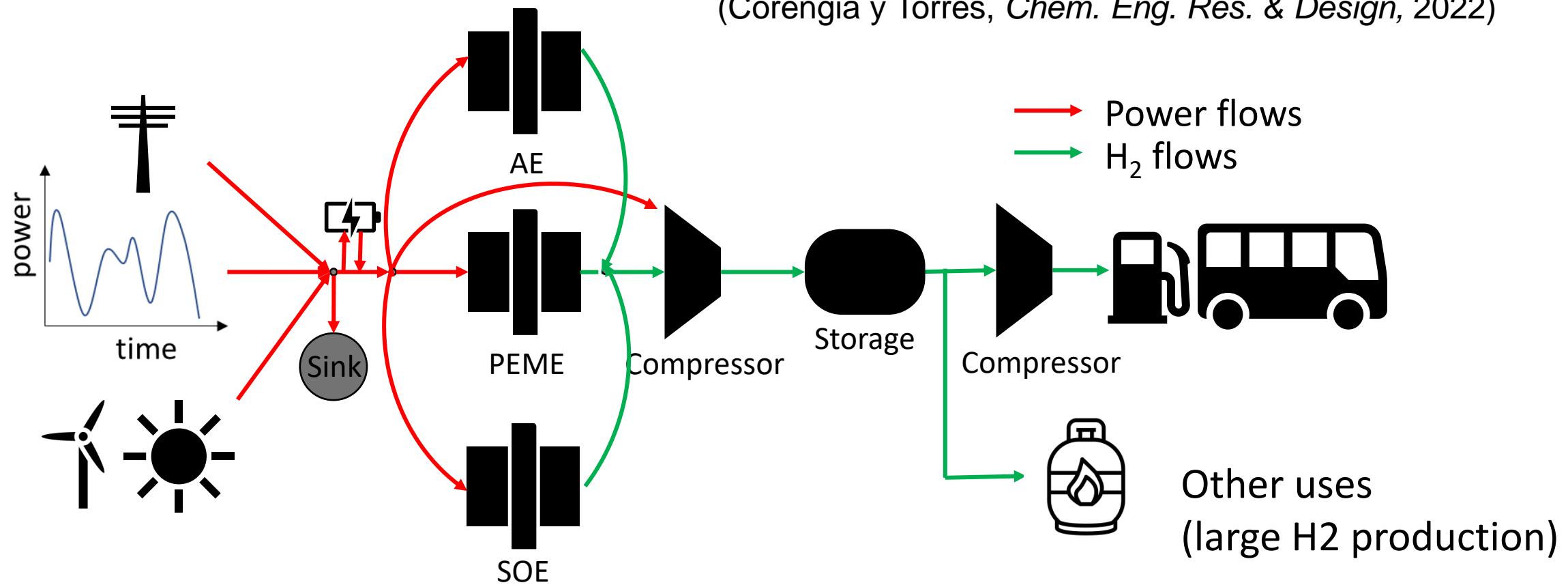
(1) (Corengia et al, Computer Aided Chem. Eng., 2018)

- **Resultados**



- Instalar sólo si $\$H_2 > 7 \text{ USD/kg}$
- Threshold capacity 2 MW: largest single electrolyzer cost in Ref. (1)

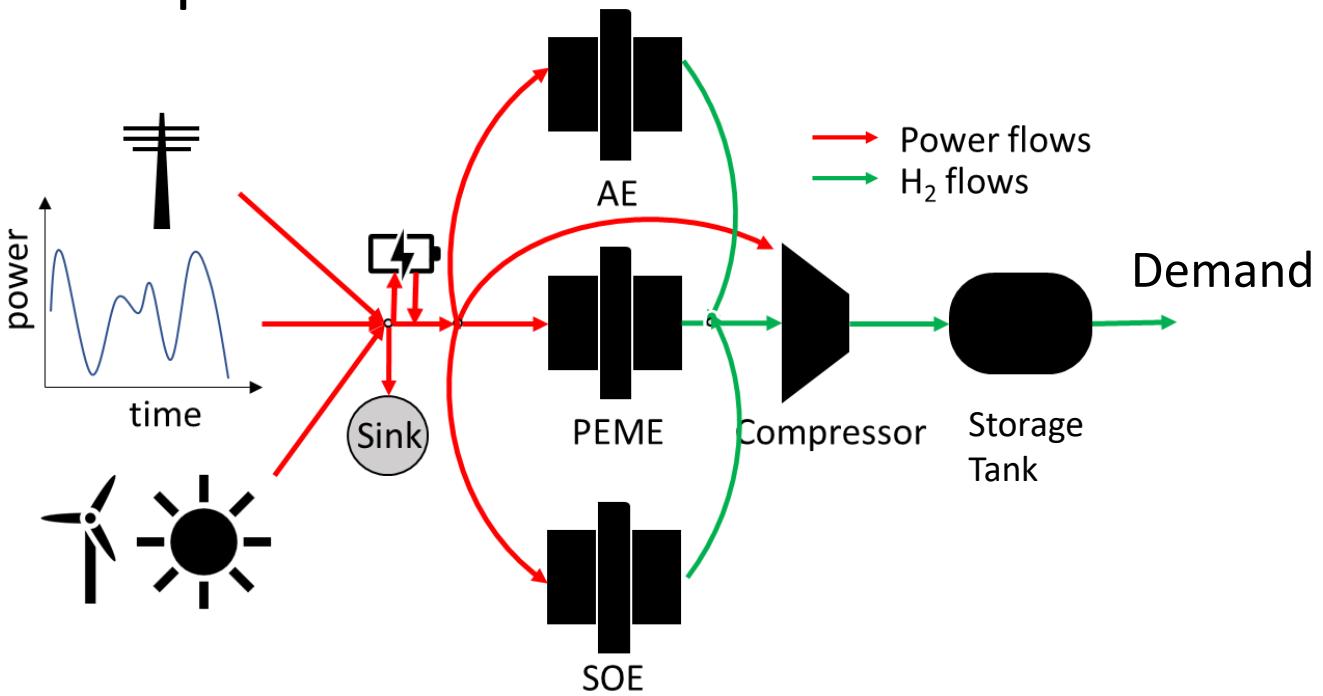
Producción de H₂ verde: superestructura

(Corengia y Torres, *Chem. Eng. Res. & Design*, 2022)

- PEME flexibles pero costosas => combinar con AE (operación base) + PEME picos
- AE no a carga parcial => posibilidad de consumir de la red o instalar generadores propios
- SOE: tecnología más nueva, alta temperatura, promisoria no en el mercado

GREEN-H₂: OPTIMIZATION PROBLEM⁽¹⁾

- Superstructure



- Family of problems
- MILP (AE), Some LP
- All GAMS/CPLEX with SolnPool

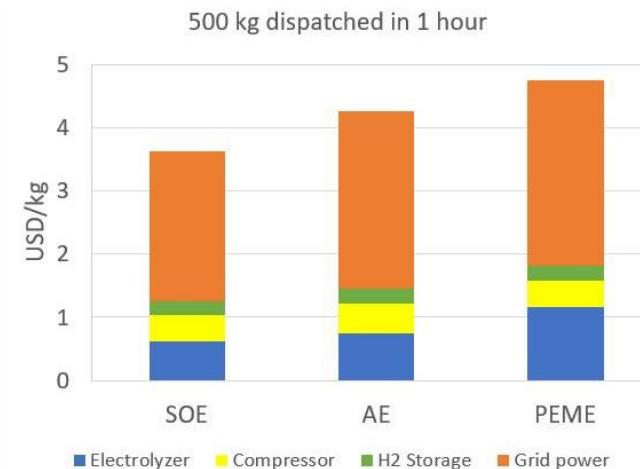
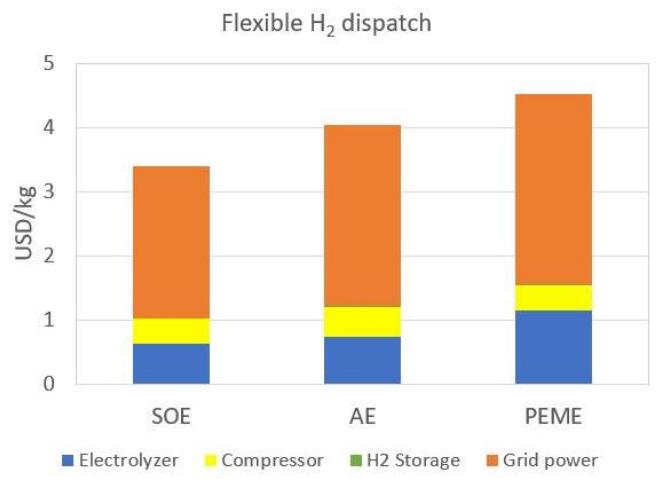
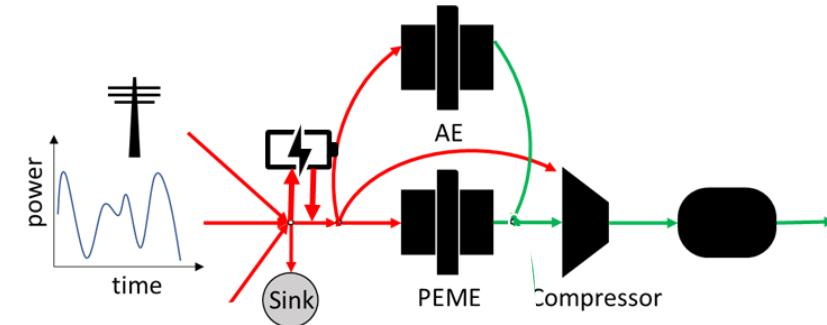
- Allow all technologies and power combinations
- Objective function: Annualized cost
 - CAPEX: Wind, Solar generators, AE, PEME, SOE, Compressor, Tank, Battery
 - OPEX: Electrolyzers, Compressor, penalty for using the battery
- Restrictions for the equipment loads:
 - SOE if selected always on: min. load $\geq 60\%$
 - AE: may turn on/off; min load 40%
- Costs: AE, PEM literature; SOE estimates² => worst case SOE~AE, then sensitivity analysis
- Demand curve: substitution of NG imports
- Wind/Sun availability, energy prices: real curves Uruguay

(1) Corengia & Torres, In preparation 2022

(2) Anghilante et al, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, 2018

GREEN-H₂: RESULTS LOW H₂ PRODUCTION (JUST GRID)

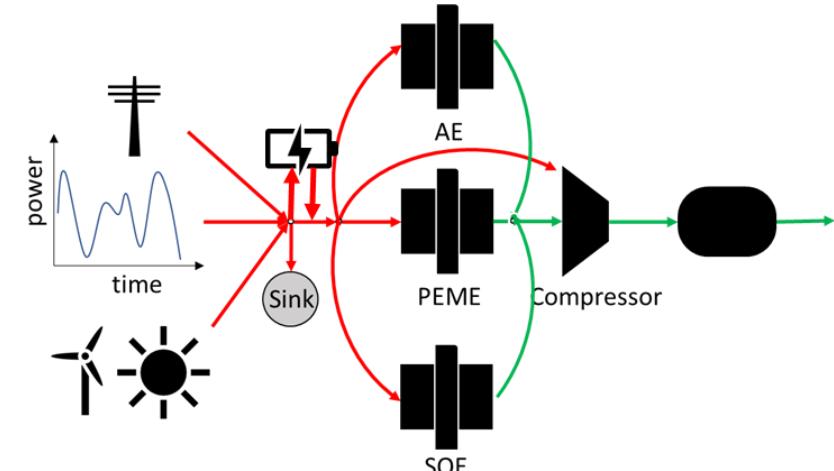
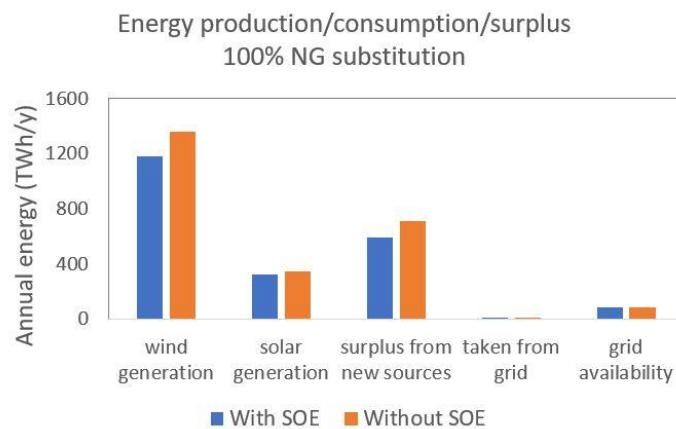
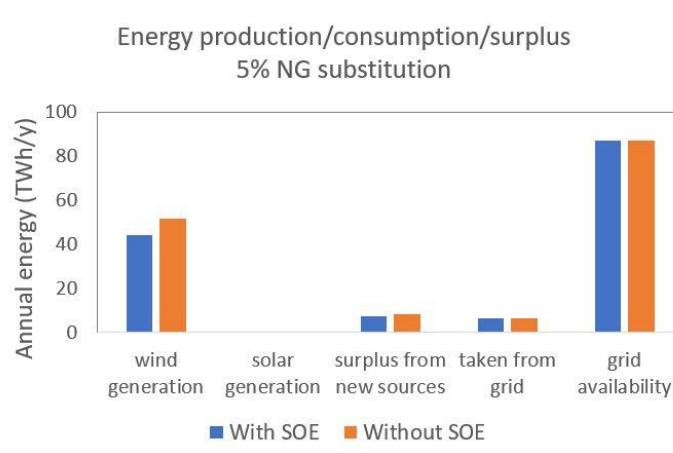
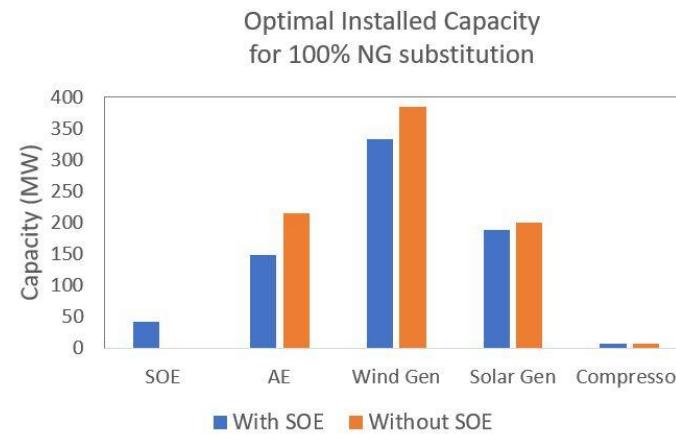
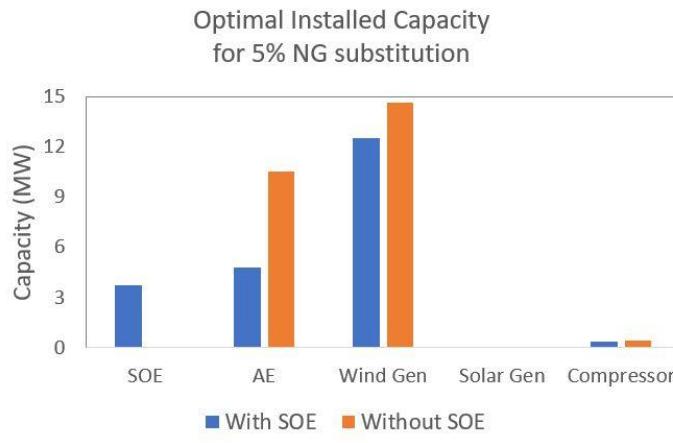
- SOE are preferred over AE, PEME
- Optimal solutions do not install batteries
 - pay large prices for electricity from the grid
 - Average usage factor SOE: ~90%
- Trend is valid until Cost SOE~2 Cost AE
- If SOE not considered AE always preferred over PEME



- 1h dispatch considers bad case scenario for storage

GREEN-H₂: RESULTS LARGE H₂ PRODUCTION

- AE preferred; combines AE & SOE & storage in batteries (if batteries < 300 USD/kWh)



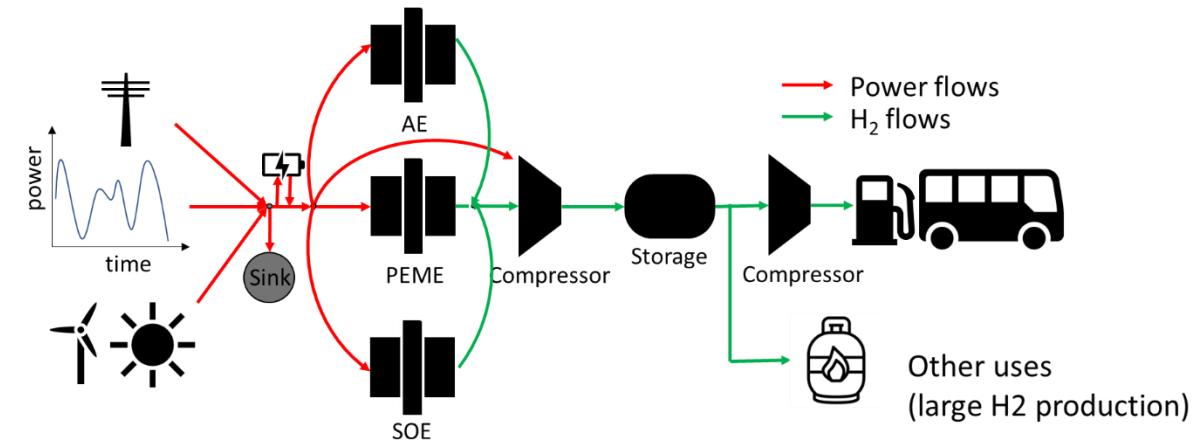
- Installation of wind generators is preferred over consuming from the grid
- Installation of solar => complementarity of the resource

(Figures: batteries 100 USD/kWh—Tesla's target)

RESUMEN RESULTADOS H₂-VERDE URUGUAY

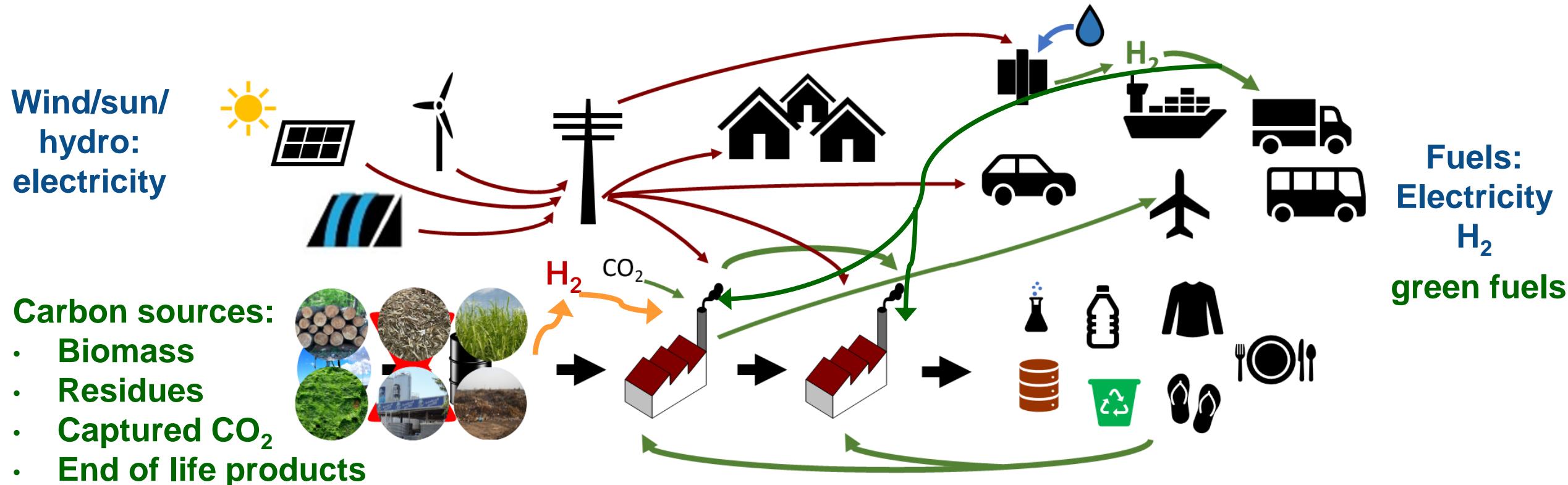
(Corengia y Torres, *Chem. Eng. Res. & Design*, 2022)

- Excedentes → H₂:
 - No en condiciones actuales
 - Electrolizadores:
 - Flexibilidad PEM's no compensa actualmente su costo => AE
 - SOEs muy promisorios, no aun en el mercado
 - Generadores:
 - más de 50 tonH₂/day instalar solar +
 - hasta 50 tonH₂/day ton instalar eólica
 - considerar baterías
- **Resultados: foto**
 - **Metodología para análisis de escenarios**



Visión del futuro cero carbono neto

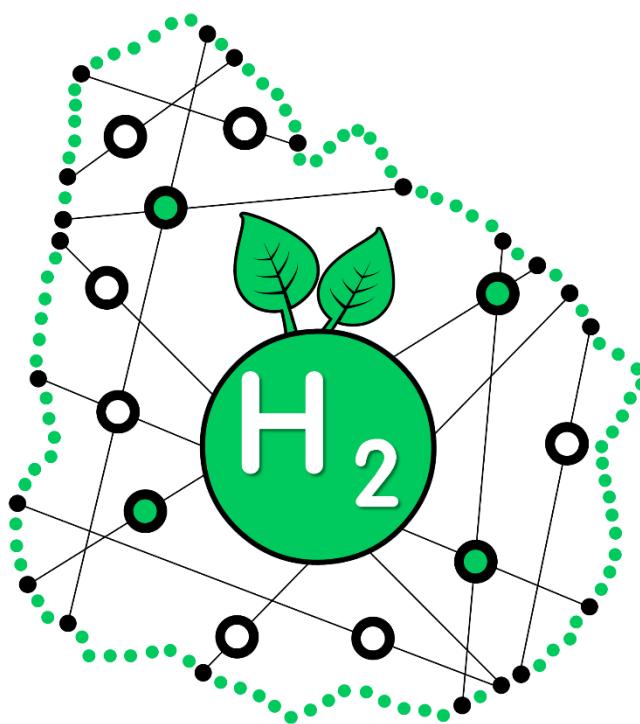
- Hoy de fósiles: energía (electricidad, transporte, calor), químicos (carbonos e H₂)



- Futuro: e-refinerías (operaciones y electro-reducción de carbono) , bio-refinerías (green diesel, green nafta, biocombustible de aviación a partir de biomasa y residuos plásticos)

RedH₂uy

RED ACADÉMICA PARA LA PROMOCIÓN,
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL
HIDRÓGENO Y LA DESCARBONIZACIÓN
EN URUGUAY



¿Quiénes somos?

Investigadoras e investigadores de tres instituciones enfocados en diferentes temas relacionados con la producción y uso de H₂ como energía y la descarbonización

Objetivos de la red

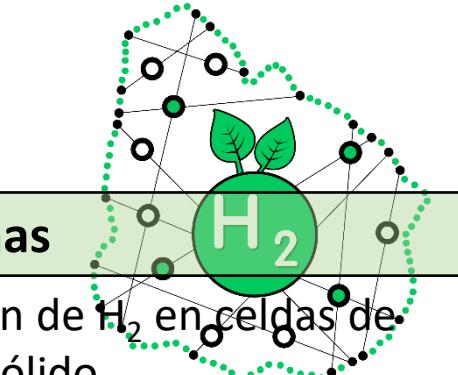
- Integración de la investigación que se está realizando en los temas H₂ y descarbonización en el país
- Fomento de la investigación nacional en H₂ y descarbonización
- Divulgación de la investigación en H₂ y descarbonización
- Formación de recursos humanos



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Integrantes



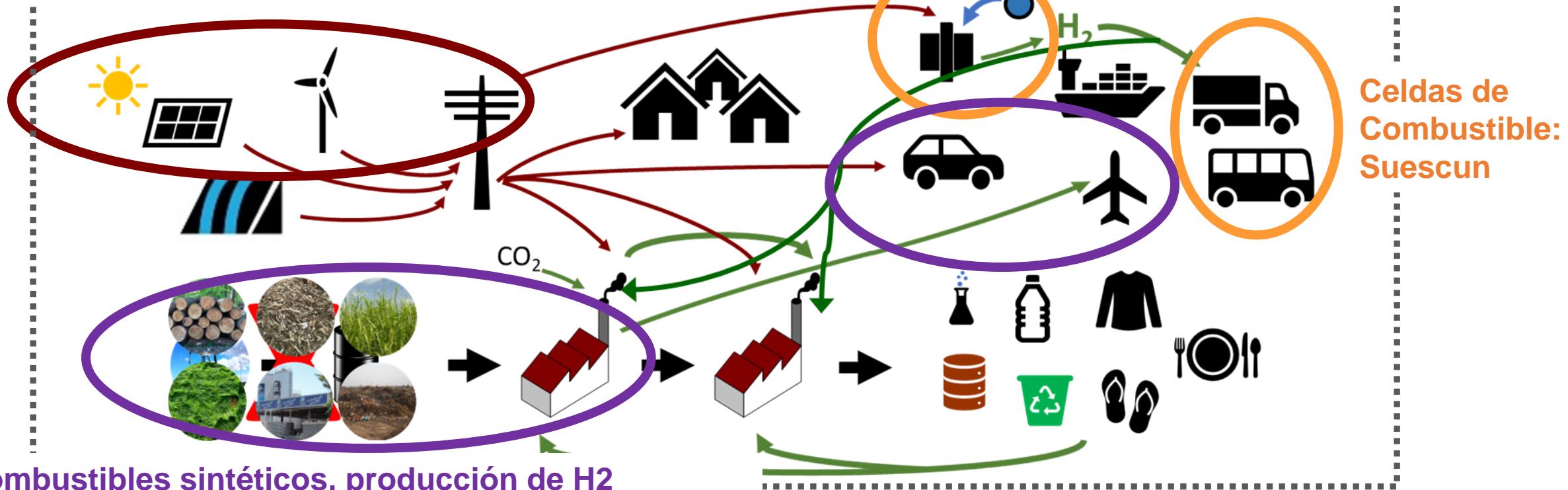
Investigador/a	Afiliación	Temas
Leopoldo Suescun/ Joaquín Grassi	Cryssmat-Lab/DETEMA, FQ, Udelar	Producción y utilización de H ₂ en celdas de óxido sólido
Juan Bussi/ Mauricio Musso/ Santiago Veiga/ Andrea De León	Fisicoquímica-FQ-Udelar	Técnicas de catálisis heterogénea en producción, almacenamiento y uso de H ₂ .
Andrés Cuña/ Elen Almeida Leal da Silva	Fisicoquímica-FQ-Udelar	Síntesis y caracterización electroquímica de electrocatalizadores para la producción electroquímica de hidrógeno.
Ana Inés Torres/ Mariana Corengia	IIQ-FIng-Udelar	Evaluación tecno-económica, diseño y optimización de procesos
Claudia Etchebehere/ Laura Fuentes Elena Castelló	Laboratorio de Ecología Microbiana- IIBCE IIQ-FIng-Udelar	Producción de hidrógeno y productos de valor agregado por vías fermentativas
Marcos Zefferino/ Conrado Fleck Dos Santos/ Marcelo Aguiar/ Mauricio Mendes da Silva/ Ana Laura Rodríguez/ Mariana Silva	Ingeniería en Energías Renovables-UTEC IEM-Fing-Udelar	Investigación del recurso eólico y solar on-shore y off-shore. Marco regulatorio

Capacidades

Recurso eólico y solar:
Zefferino, Fleck, Dos
Santos, Aguiar, Da Silva

Electrolizadores:
Cuña, Suescun

Celdas de
Combustible:
Suescun



- Combustibles sintéticos, producción de H₂ sostenible, almacenamiento de H₂ vías catalíticas:
Bussi, Veiga, Musso, De León
- H₂ vías fermentativas: Etchebehere, Castelló

Aspectos regulatorios: Rodríguez
Diseño Optimización: Corengia