



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Hydrogène:

De quoi parle t'on ?

Pour quels usages ?

Quelle vision ADEME pour 2050 ?

Quelle place dans le bâtiment ?



Hydrogène – De quoi parle t'on?

Existe-t-il à l'état naturel ?

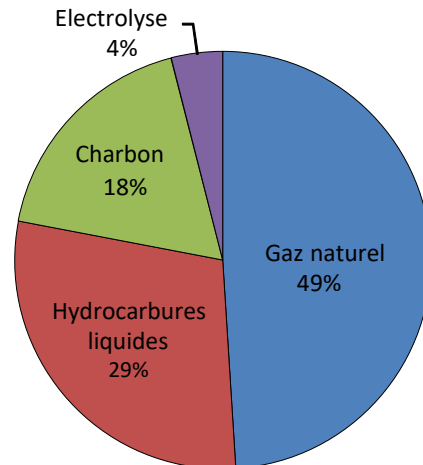
- Élément le plus abondant sur terre mais.....
- Des sources naturelles d'hydrogène existent au fond des océans
- Hydrogène naturel dans le sous-sol?

 **Nécessité de le produire pour le consommer**

Hydrogène – De quoi parle t'on?

Comment est-il produit aujourd'hui ?

- Production mondiale d'hydrogène estimée à 53 millions de tonnes en 2010
- Production française de 880 000 tonnes en 2020 (France Hydrogène)



4% de l'électrolyse se divisent en :

- 3% de l'électrolyse chlore-soude
- 1% de l'électrolyse de l'eau

Hydrogène – De quoi parle t'on?

Comment peut-il être produit demain ?

- Electrolyse: cible de la stratégie nationale H2!
- **H2 renouvelable/bas carbone/carboné** (Ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène)

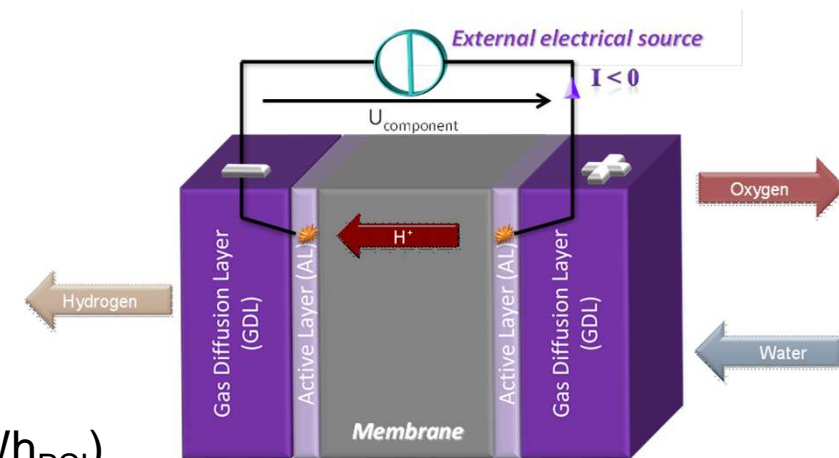
	Couleur	Technologie	Energie primaire ou source d'électricité	Empreinte carbone	Terminologie
Production via biomasse	Hydrogène vert	Thermolyse	Biomasse	Basse (< 3 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène renouvelable
		Vaporeformage	Biométhane	Basse (< 3 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène renouvelable
Production via l'électricité	Hydrogène rose Hydrogène jaune	Electrolyse de l'eau	Solaire, éoliennes, hydroélectricité	Minimale (< 2 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène renouvelable
			Nucléaire	Minimale (< 2 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène bas-carbone
			Réseau électrique (FR)	Basse (< 3 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène bas-carbone
Production via les énergies fossiles	Hydrogène bleu	Vaporeformage Gazéification	Gas naturel, charbon + CCUS	Basse (< 3 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène turquoise	Pyrolyse	Gaz naturel	Basse (< 3 kgCO ₂ eq/kgH ₂) + noir de carbone (co-produit)	/
	Hydrogène gris	Vaporeformage		Elevée (> 11 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène carboné
	Hydrogène marron	Gazéification	Lignite	Très élevée (> 20 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène carboné
	Hydrogène noir		Charbon bitumineux	Très élevée (> 20 kgCO ₂ eq/kgH ₂)	Hydrogène carboné

Hydrogène – De quoi parle t'on?

Comment peut-il être produit demain ?



$$56 \text{ kWh}_e + 1 \text{ L d'eau} \rightarrow 1 \text{ kgH}_2 \text{ (33 kWh}_{\text{PCI}})$$



➡ **Rendement ≈ 60% (<< autres vecteurs)**

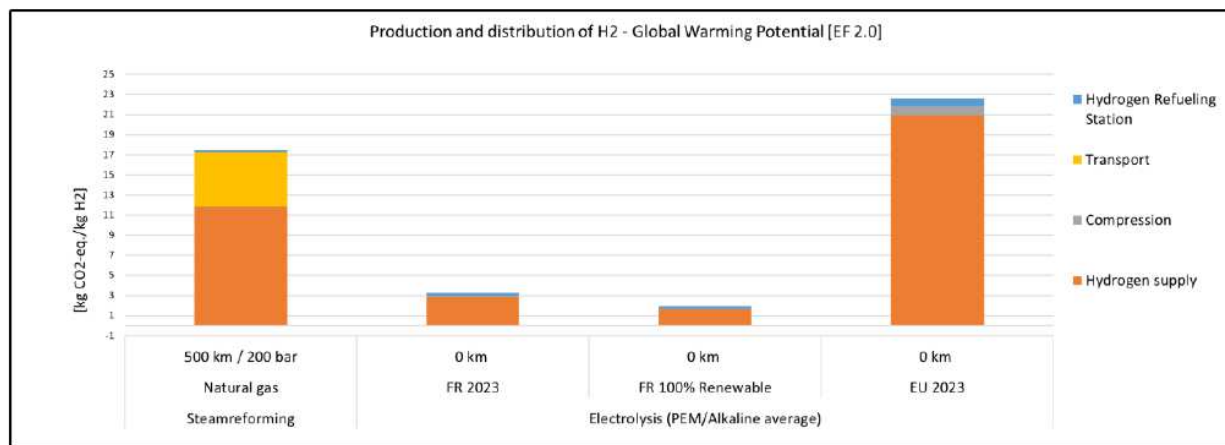
Hydrogène – De quoi parle t'on?

Comment peut-il être produit demain ?

Scope 1 - Hydrogen production and distribution

A highly variable global warming impact, ranging in France from 1.9 to 17.5 kg CO2 eq/kg H2 available at the station

For all the scenarios studied for the production of hydrogen up to its distribution in stations, and representative of France, the impact of climate change appears to be highly variable. The GHG content of a kg of hydrogen ranges from 1.9 to 17.5 kg CO2 eq.



Source ADEME: rapport ACV relative à l'H2



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Hydrogène:

De quoi parle t'on ?

Pour quels usages ?

Quelle vision ADEME pour 2050 ?

Quelle place dans le bâtiment ?



Hydrogène – Quels usages?

Source France Hydrogène – Panorama des solutions hydrogène

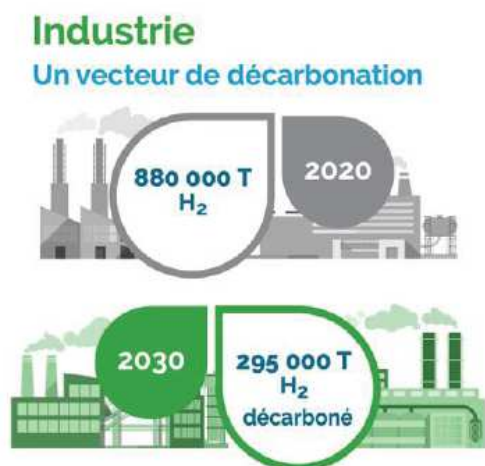
Usages		
Mobilité	<ul style="list-style-type: none">○ Véhicules Légers VL○ VUL – PTAC ≤ 3,5t○ VU - 3,5t ≤ PTAC ≤ 7,5t○ Bus○ Autocars○ BOM 7,5t ≤ PTAC ≤ 32t	<ul style="list-style-type: none">○ PL : Medium Duty 7,5t ≤ PTAC ≤ 32t○ Poids lourds : Heavy Duty > 32t○ Evolutions économiques○ Synthèse de la mobilité
Applications portuaires	<ul style="list-style-type: none">○ Equipements portuaires	<ul style="list-style-type: none">○ Equipements flottants
Aéronautique	<ul style="list-style-type: none">○ Avions et taxis volants	<ul style="list-style-type: none">○ Drones
Ferroviaire		
Engins spéciaux		
Production d'énergie	<ul style="list-style-type: none">○ Connecté au réseau	<ul style="list-style-type: none">○ Hors réseau
Conversion du CO₂	<ul style="list-style-type: none">○ Méthanation biologique	<ul style="list-style-type: none">○ Méthanation catalytique

Hydrogène – Quels usages?

Lien avec la stratégie nationale et vision ADEME

Les priorités:

- Décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française d'électrolyse
- Développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné
- Soutenir la recherche, l'innovation et les compétences afin de favoriser les usages de demain



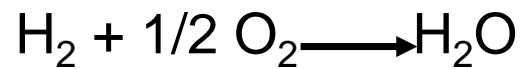
Objectifs de la filière en 2030,
342 000 T d'H₂ décarboné pour :



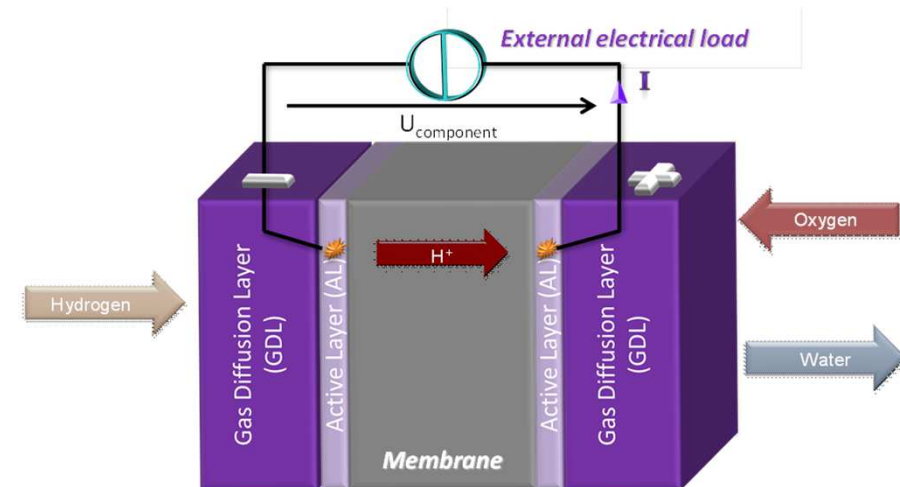
Objectifs à 2028 de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie
• 20 000 à 50 000 véhicules utilitaires légers
• 800 à 2000 véhicules lourds

Hydrogène – Quels usages (exemple mobilité)?

Comment fonctionne une « Pile à combustible » ?



↓
électricité
chaleur



➡ **Rendement ≈ 60%**

Hydrogène – Quels usages (exemple mobilité)?

Avant toute chose...!

Figure 1 Les cinq leviers de la transition énergétique des transports

$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$

Source : décomposition des émissions des transports sous forme d'identité (ou d'équation) de Kaya [4].

Hydrogène – Quels usages (exemple mobilité)?

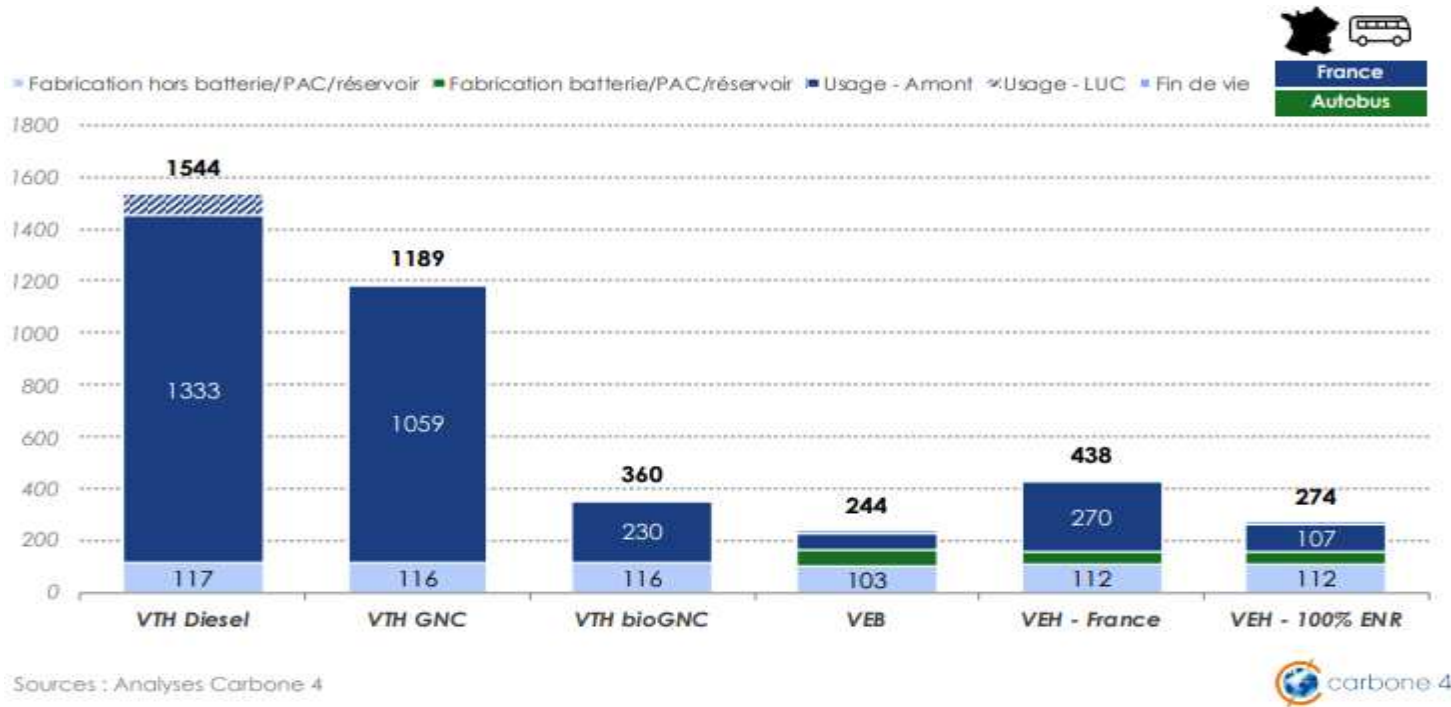


Figure 12 – Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un autobus vendu en 2020 France | gCO₂e/km

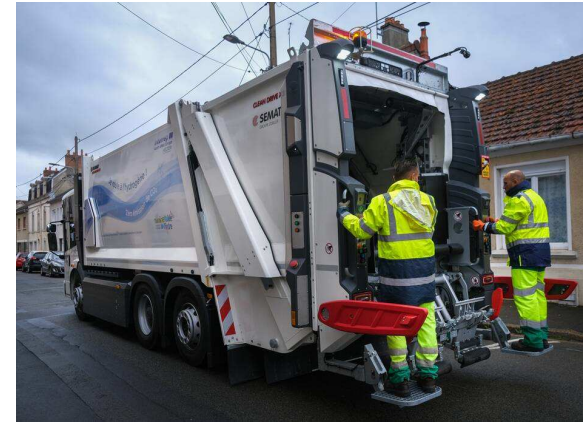
Enjeux Gaz à Effet de Serre:

- BioGNC/VEB/VEH: 3 à 4 fois moins émissives que les autobus diesel ou GNV, non négligeable
- Veiller à l'approvisionnement ENR/bas carbone pour l'H2 comme le CH4
- Raccordement direct/contrat ENR (PPA, GO, etc.)

Source carbone 4: rapport « comparaison des émissions en cycle de vie pour le transport routier

Hydrogène – Quels usages (exemple mobilité)?

Quelle offre pour la mobilité « intensive » ?





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Hydrogène:

De quoi parle t'on ?

Pour quels usages ?

Quelle vision ADEME pour 2050 ?

Quelle place dans le bâtiment ?

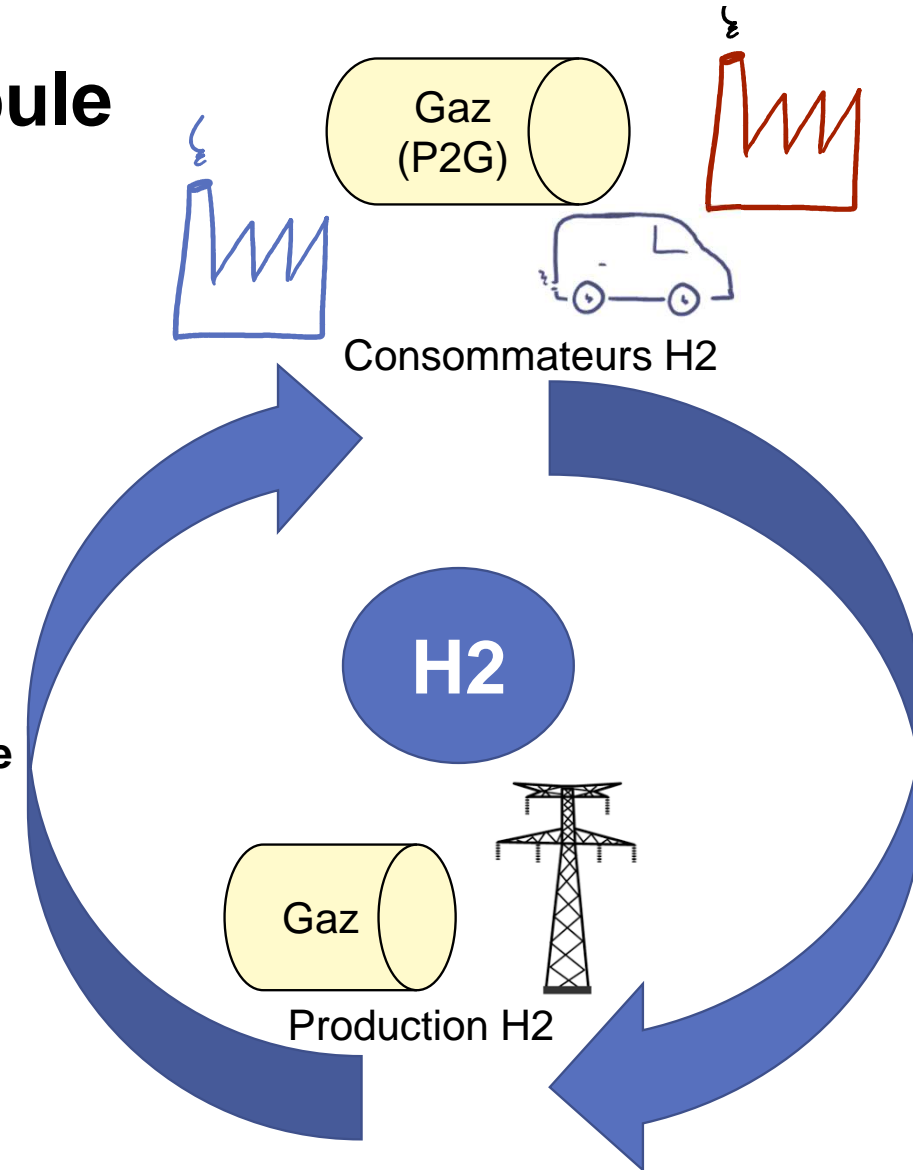


Scénarios 2050 - Préambule

L'hydrogène est un vecteur énergétique.

Sa trajectoire en prospective 2030-2050 dépend :

- 1. Des trajectoires de chaque secteur consommateur en consommation directe :**
 - Industrie : sidérurgie, méthanol/chimie, raffinage et bioraffinage...
 - Mobilité
- 2. Des potentiels/enjeux de décarbonation du réseau gaz via le Power-to-gas et carburants de synthèse via le Power-to-Liquid (consommation indirecte)**
- 3. Des limites potentielles sur la production :** en termes de capacités du réseau électrique, de capacités CCS et des possibilités d'importation d'H2 décarboné



Scénarios 2050 - Usages de l'hydrogène

Tous scénarios

Usages considérés



- ✓ **Usages matière** actuels dans l'industrie (raffinage, ammoniac)
- ✓ **Usages matière futurs** (acier, méthanol, HVO)
- ✓ **Transports direct (H2) et indirects (P2L)**
 - Véhicules terrestres routiers (VL, bus, cars, camions) et non routiers (train passagers et fret)
 - Bateaux et navires
 - Avions
- ✓ **Usages énergétiques gaz (P2G) – Couplage méthanisation uniquement**

Usages non retenus



Non pertinents

- Usages dans les bâtiments
- Injection partielle d'hydrogène dans les réseaux de gaz
- Généralisation des véhicules H2 pour les particuliers

Peu mature à date

- Combustion d'hydrogène dans les fours industriels
- Equilibrage des réseaux via la solution P2Hydrogen2P

Scénarios 2050 - Modes de production de l'hydrogène

Tous scénarios

Technologies considérées



- ✓ Vaporeformage de gaz
- ✓ Vaporeformage de gaz avec CCS
- ✓ Electrolyse technologies PEM et alcaline

Technologies non retenues

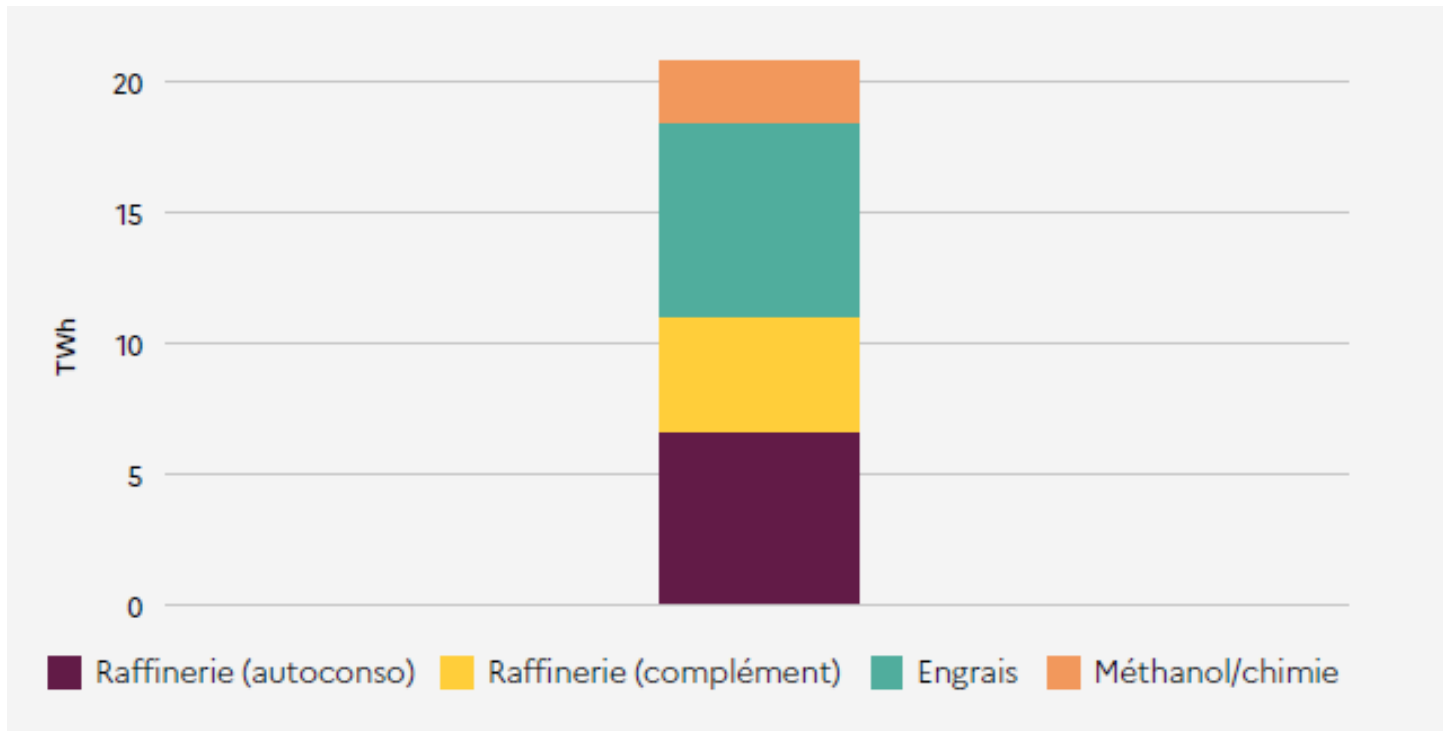


- Electrolyse haute température
- Pyrogazéification de la biomasse
- Décomposition de gaz par plasma

Sources d'H2 non intégrées au modèle

- H2 coproduit par l'électrolyse saumure
- Sources d'H2 naturel

Scénario 2050 - Consommation actuelle d'hydrogène de 20 TWh (calcul ADEME)



Principaux usages actuels
consommateurs
d'hydrogène : **raffinage et
engrais**

Scénario 2050 - Résultats et récits (Scénarios S1 à S4)

S1

S2

Principales hypothèses:

- ❑ Usages industriels historiques =, pas ou peu de développement d'hydrogène pour de nouveaux usages directs
- ❑ Usage majoritaire de l'hydrogène pour le P2G (CH₄) permettant une forte décarbonation du gaz

- ❑ Forte émergence des usages directs en mobilité lourde + industrie (P2L, acier)
- ❑ Conversion progressive des usages industriels historiques (engrais et méthanol) à l'électrolyse
- ❑ Usage majoritaire de l'hydrogène pour le P2G (CH₄) pour une forte décarbonation du gaz

Principaux résultats:

55,2 TWh

de consommation totale d'hydrogène en 2050
81% basé sur l'électricité, 19% sur gaz

20,1 GW

de capacité d'électrolyse installée en 2050
(électrolyseurs de la taille du MW)

95,7 TWh

de consommation totale d'hydrogène en 2050
100% basé sur l'électricité

30,1 GW

de capacité d'électrolyse installée en 2050
(électrolyseurs du MW à la centaine de MW)

Scénario 2050 - Résultats et récits (Scénarios S1 à S4)

S3

S4

Principales hypothèses:

- ❑ Forte émergence des usages directs en mobilité lourde + industrie (acier, méthanol) + P2G
- ❑ Importation d'H2 depuis Europe du Sud soulageant le réseau électrique (+ pipe H2)

- ❑ Limitation au recours de l'électrolyse et hydrogène
 - CCS sur les secteurs industriels historiques (engrais, méthanol)
 - Émergence pipe CO2 = terrain favorable pour DACCS en défaveur du P2G
 - Fortes avancées technologiques sur les batteries dans la mobilité limitant le recours à l'hydrogène
- ❑ Développement de l'électrolyse pour de nouveaux usages industriels (P2L, HVO) et mobilité.

Principaux résultats:

93,9 TWh (dont 48 TWh importés)
de consommation totale d'hydrogène en 2050
100% basé sur l'électricité

28,8 GW
de capacité d'électrolyse installée en 2050
(électrolyseurs du MW à la centaine de MW)

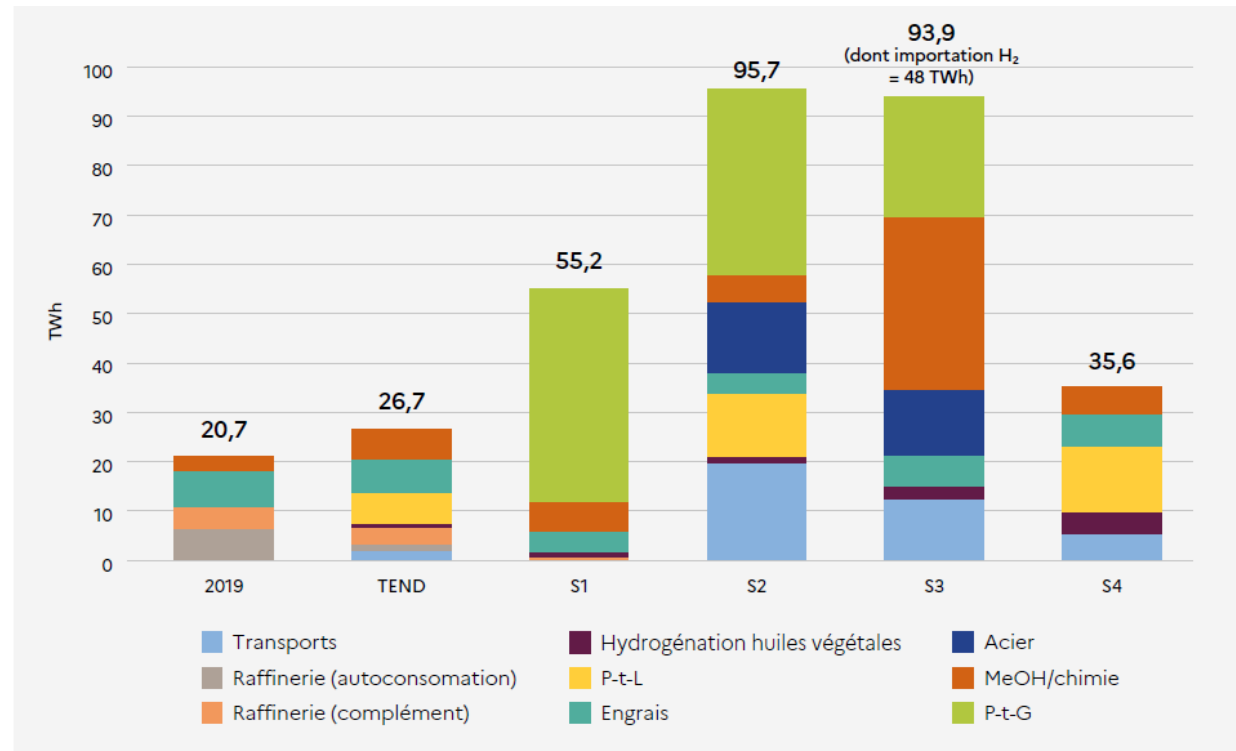
4,8 GW
de capacité d'électrolyse installée en 2050
(électrolyseurs du MW à la centaine de MW)

35,6 TWh
de consommation totale d'hydrogène en 2050
66% basé sur l'électricité, 34% sur le gaz (avec CCS)

Scénario 2050 - H2 incontournable dans tous les scénarios

Principaux enseignements:

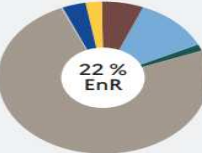
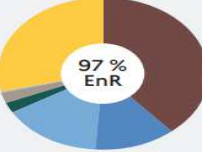
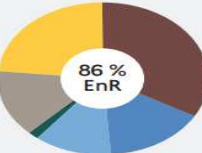
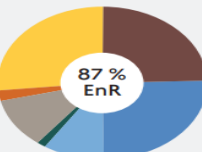
- Consommation 2050 > 2019
- Usages industriels + mobilité
- Facteur d'émission de l'H2 diminue!



Scénario 2050 - Lien avec les coûts d'électricité pour produire l'hydrogène par électrolyse

Principaux enseignements:

- 72 à 97% d'origine renouvelable
- 74 à 87 €/MWh: évolutions homogènes
- Equilibrage avec interconnexions/ELY

	Consommation domestique totale	Mix de production	Coût total 2020-2060	Coût complet en 2050
2020	468 TWh	 22 % EnR		86 EUR/MWh en 2020
S1 2050 Génération frugale	408 TWh	 97 % EnR	1 045 MdEUR	85 EUR/MWh
S2 2050 Coopérations territoriales	537 TWh	 86 % EnR	1 097 MdEUR	74 EUR/MWh
S3EnR-offshore 2050 Technologies vertes	656 TWh	 87 % EnR	1 318 MdEUR	82 EUR/MWh

■ Nucléaire ■ Turbines gaz ■ Autres thermiques ■ Photovoltaïques
■ Éolien terrestre ■ Éolien en mer ■ Hydraulique ■ Autres renouvelables

Scénarios 2050 Hydrogène : Conclusions

- ❑ Forte augmentation des consommation d'hydrogène en 2050 (vs 2019)
- ❑ L'électrolyse technologie sans regret.. Mais pour quels usages ?
- ❑ **2020-2030 période cruciale** pour rendre compétitive l'électrolyse (**1 à 13 GW**) notamment dans les secteurs
 - Mobilité H2 (S2 et S3) en compétition avec le gaz
 - P2G (S1, S2 et S3) : couplage avec la méthanisation
 - Production de méthanol (S3)
 - Sidérurgie (S2 DRI décentralisé et S3 en HF centralisé)
- ❑ Secteur du **raffinage en forte mutation** (excédentaire en hydrogène en 2030 puis fermeture des raffineries)
- ❑ Infrastructures de **pipes et importations d'H2 décarbonés sont une option** (en S3, gros consommateurs industriels)
- ❑ Scénario prospectif qui conforte **le plan national H2** notamment sur :
 - Construction filière d'électrolyse en s'appuyant sur les secteurs industriels consommateurs d'H2 (**6,5 GW**)
 - Offre mobilité lourde via des écosystèmes dans les territoires

Cependant accompagnement du P2G nécessaire dès 2027-2028 absent du plan H2



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Hydrogène:

De quoi parle t'on ?

Pour quels usages ?

Quelle vision ADEME pour 2050 ?

Quelle place dans le bâtiment ?



Quelle place dans le bâtiment (énergétique)?

- **Priorité au besoin de réduire les consommations, isoler, faire baisser le nombre de construction neuves, etc!**
- **Priorité aux technologies matures, efficaces, compétitives (PAC électrique ou hybride, biomasse, etc.)**

Tableau 1 Leviers d'action de la transition écologique des bâtiments et de leur adaptation au changement climatique

Sobriété Réduire le besoin en énergie et ressources	Efficacité Augmenter le service rendu par la consommation d'une unité d'énergie ou de ressources	Énergies ou matériaux moins impactants Utiliser des énergies et matériaux peu impactants pour l'environnement	Compensation Compenser les impacts résiduels	Adaptation au changement climatique Anticiper et gérer l'impact des aléas climatiques
À l'échelle du parc (ou du quartier)				
<ul style="list-style-type: none"> • Limiter la surface par personne 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser l'usage du parc existant pour construire moins • Optimiser l'usage du foncier 	<ul style="list-style-type: none"> • Développer les réseaux de froid et de chaleur urbains 	<ul style="list-style-type: none"> • Capturer et stocker le carbone pour compenser les émissions du secteur bâtiment 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticiper les impacts sur la répartition et la composition du parc immobilier • Aménager le quartier pour atténuer les aléas climatiques (vagues de chaleur...)
À l'échelle du bâtiment <i>Ensemble des usages assurant le confort thermique et le soutien à la vie quotidienne: chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, ventilation, cuisson, électroménager, produits bruns et gris²...</i>				
<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser moins d'équipements, mieux les dimensionner 	<ul style="list-style-type: none"> • Réemployer, réutiliser, recycler les matériaux et équipements 	<ul style="list-style-type: none"> • Adopter des modes constructifs avec des matériaux et équipements moins impactants 	<ul style="list-style-type: none"> • Compenser les émissions carbone des bâtiments neufs (si non évitables) • Stocker le carbone dans les matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticiper les aléas climatiques qui affecteront l'intégrité des constructions • Adapter le bâti et ses équipements à l'évolution des besoins énergétiques des occupants
	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment • Améliorer le rendement des équipements* 	<ul style="list-style-type: none"> • Changer le vecteur énergétique* 		

* La notion de rénovation énergétique recouvre ces trois actions, à des degrés divers en fonction de la manière dont la rénovation performante est définie.

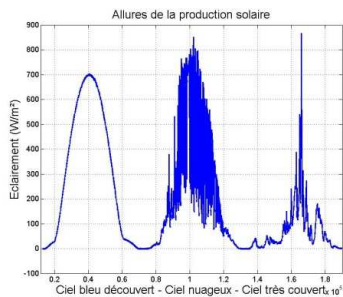
Quelle place dans le bâtiment (énergétique)?

- H2 pour générer de l'énergie/chaaleur ?
 - Rex démonstrateurs expérimentés sur 44 foyers (24 parc social + 20 parc privé), en 2018
 - PAC Panasonic + Chaudière Viessman
 - Installations avec performances conformes, et fiables
 - Un fonctionnement long conditionne la bilan économique, contraire au message de sobriété !

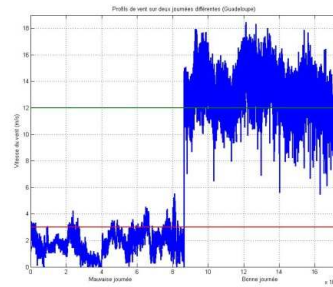
<i>Puissance thermique pile</i>	1 kW
<i>Puissance électrique produite par la pile</i>	0,75 kW (non modulable)
<i>Puissance gaz pile</i>	2 kW _{PCI}
<i>Rendement électrique brut</i>	37% _{PCI}
<i>Rendement global pile</i>	92% _{PCI}
<i>Puissances thermiques disponibles</i>	19 kW et 25 kW
<i>Rendement de la chaudière</i>	90% _{PCS}
<i>Alimentation électrique</i>	230 V, 50 Hz
<i>Volume Ballon Tampon / ECS</i>	130 l / 46 l

Quelle place dans le bâtiment (énergétique)?

- H2 pour stocker de l'énergie?
PV, éolien par nature intermittentes



Profil solaire



Profil de vent

Via l'électrolyse de l'eau :



Extrait scénarios transitions ADEME 2050:

« Cette chaîne d'équilibrage n'a été considérée dans aucun scénario car une solution concurrente assure cette fonction, **en particulier le recours à des moyens thermiques de production d'électricité utilisant le gaz**, que ce gaz soit produit par power-to-methane (installations associées systématiquement aux installations de méthanisation pour utiliser le CO2 produit par ces dernières) ou qu'il soit décarboné d'une autre manière: méthanisation, pyrogazéification entre autres, ou associé à l'émergence de CCS. Ainsi, cet équilibrage du réseau électrique repose, dans chacun de nos scénarios, sur le vecteur gaz et non sur une production et un stockage dédiés d'hydrogène pour assurer cette fonction. Au final, l'équilibrage des réseaux électriques via des centrales thermiques au gaz produit une électricité dont le caractère renouvelable dépend du taux de gaz renouvelable dans le réseau, le taux de gaz renouvelable variant en fonction du scénario considéré. »

Quelle place dans le bâtiment (énergétique)?

- H2 pour stocker de l'énergie?
 - Priorité au stockage des ENR via les réseaux
 - Exception sur des sites isolés, quartiers (PV sur place)?



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Questions?



Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine – thomas.ferenc@ademe.fr



EL HIDRÓGENO COMO SOLUCIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE EN LA VIVIENDA SOCIAL

22 de noviembre de 2022

Víctor Manuel Maestre Muñoz

Chemical and Biomolecular Engineering Department / Advanced Separation Processes Group

Where we come from?

University of Cantabria, Faculty of Industrial and Telecommunications Engineering



Santander, Spain



Chemical and Biomolecular Engineering Department,
 Advanced Separation Processes Group



The climate change situation

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World in Data



Annual CO₂ emissions, 1751

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World in Data



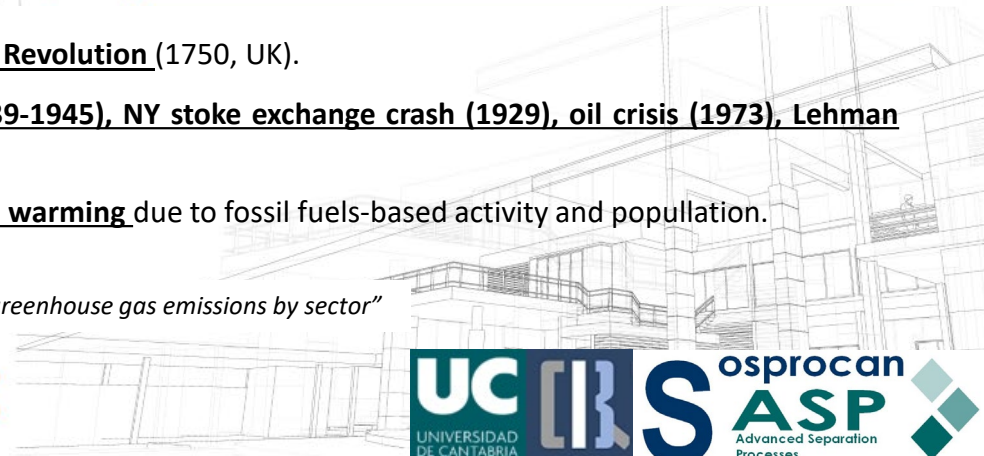
- **Exponential growth** of annual CO₂ emissions since **1st Industrial Revolution** (1750, UK).
- Occasional downturns due to **World Wars (1914-1918 and 1939-1945), NY stock exchange crash (1929), oil crisis (1973), Lehman Brothers collapse (2008) or COVID-19 pandemic (2019-now)**.
- Now, **China, India and USA are the major contributors to global warming** due to fossil fuels-based activity and population.

Sudoe

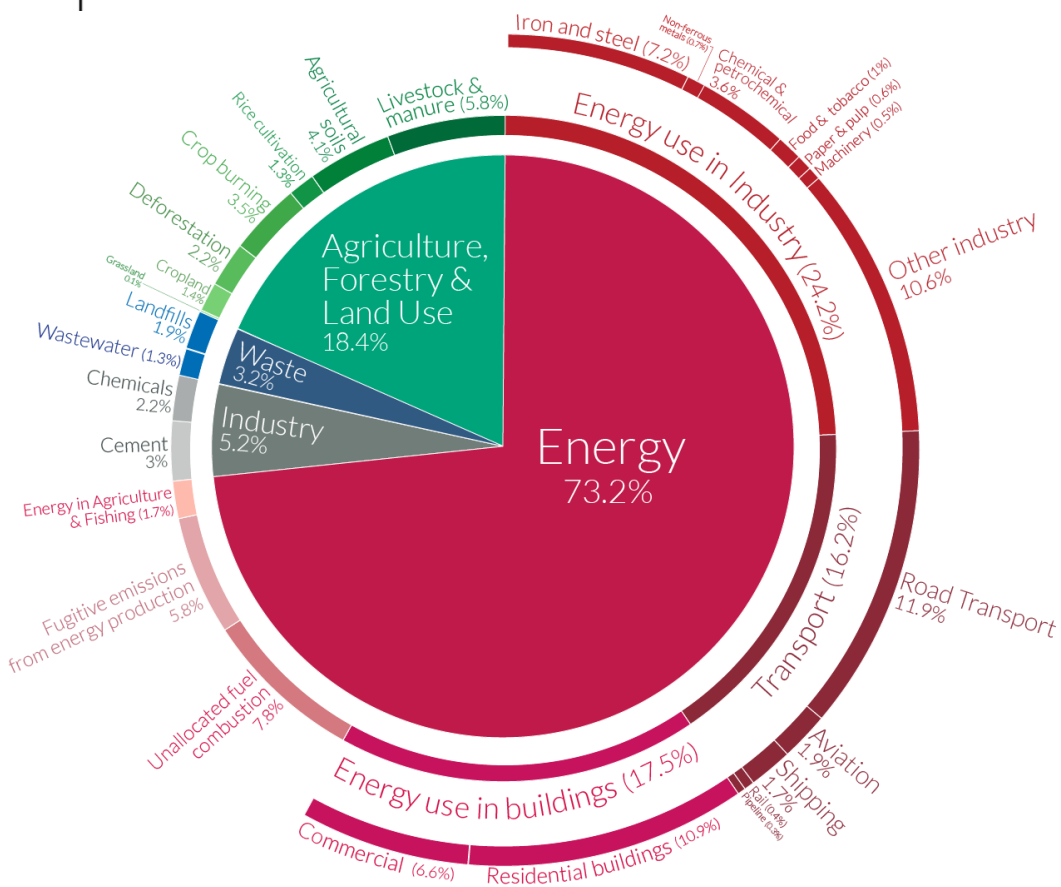
[1] Our World in Data (2020), University of Oxford, "Global greenhouse gas emissions by sector"

EFFICIENT ENERGY

for public social housing



Global CO₂ emissions per economic sector



- **Energy generation and consumption** is responsible for almost **three quarters** of global CO₂ emissions.
- **Energy use in buildings** is the **3rd most polluting** sector after industry and agricultural activities.

Sudoe [1] Our World in Data (2020), University of Oxford, "Global CO₂ emissions."



The climate change situation

COP21 Paris

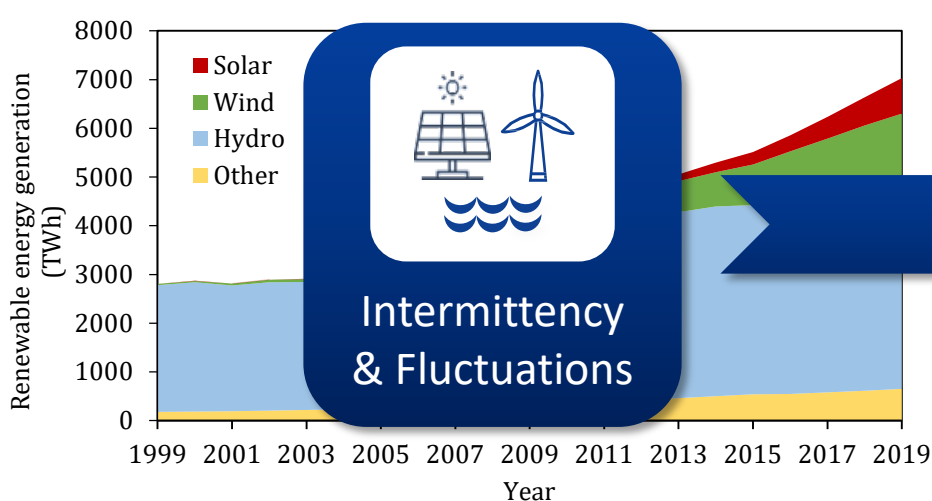
2015

Limit global T^a increase to 1.5 °C (pre-industrial levels)

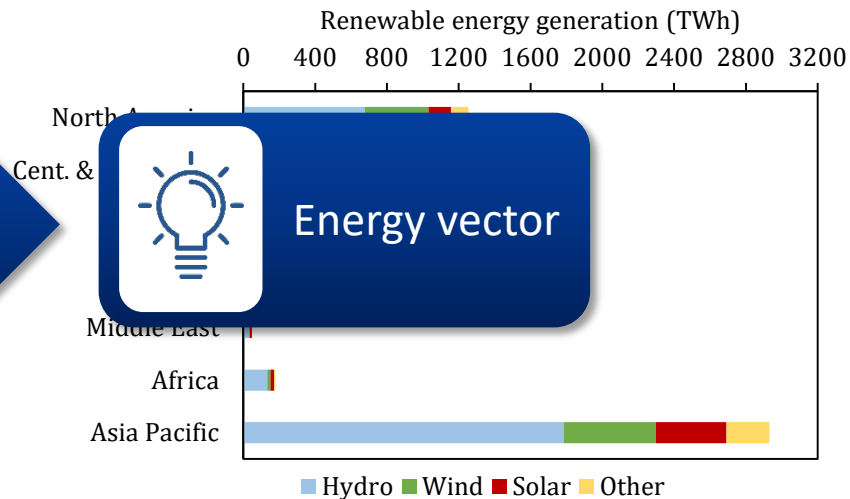
COP26 Glasgow

2021

- Reduce global CO₂ by 45% in 2030 (relative to 2010) and net 0 in 2050
- Deep reductions of other GHGs



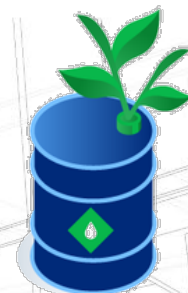
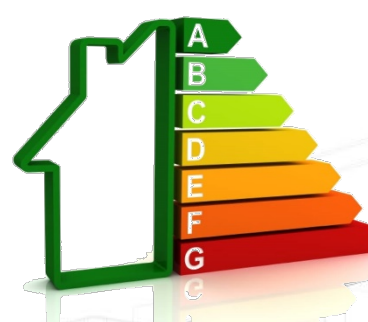
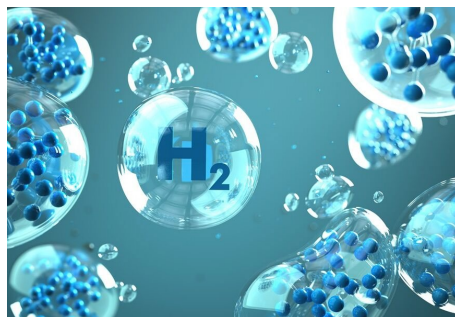
Renewable energy generation (TWh) trend from 1999 to 2019 of solar, wind, hydro and other sources (geothermal, biomass and others)



Renewable energy generation in the world by hydro, wind, solar and other sources (geothermal, biomass and others) in 2019.

REPowerEU → Short- and medium-term measures:

- Rapid roll out of **solar and wind energy** projects.
- **Increase** the production of **biomethane**.
- **Efficiency increase** for 2030 from **9% to 13%**.
- **Increase** the European **renewables** target for 2030 from **40% to 45%**.
- Build **17.5 GW of electrolyzers** by 2025 to fuel EU industry.
- A **modern regulatory framework for hydrogen**.

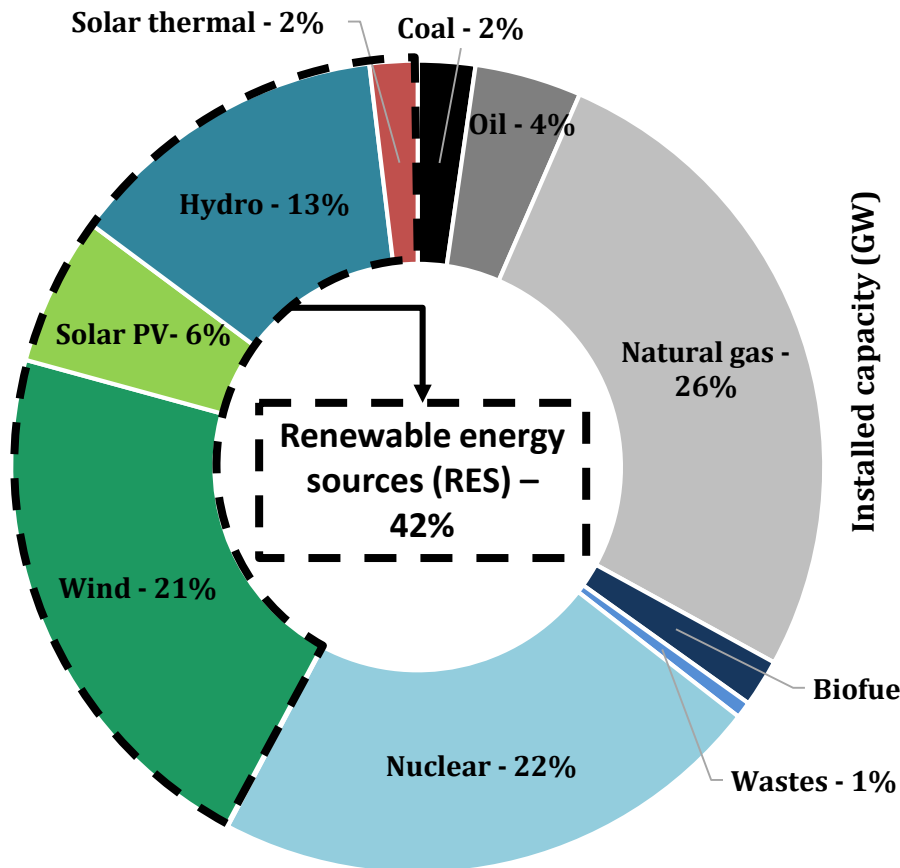


Sudoe [1] REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe (2022), https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

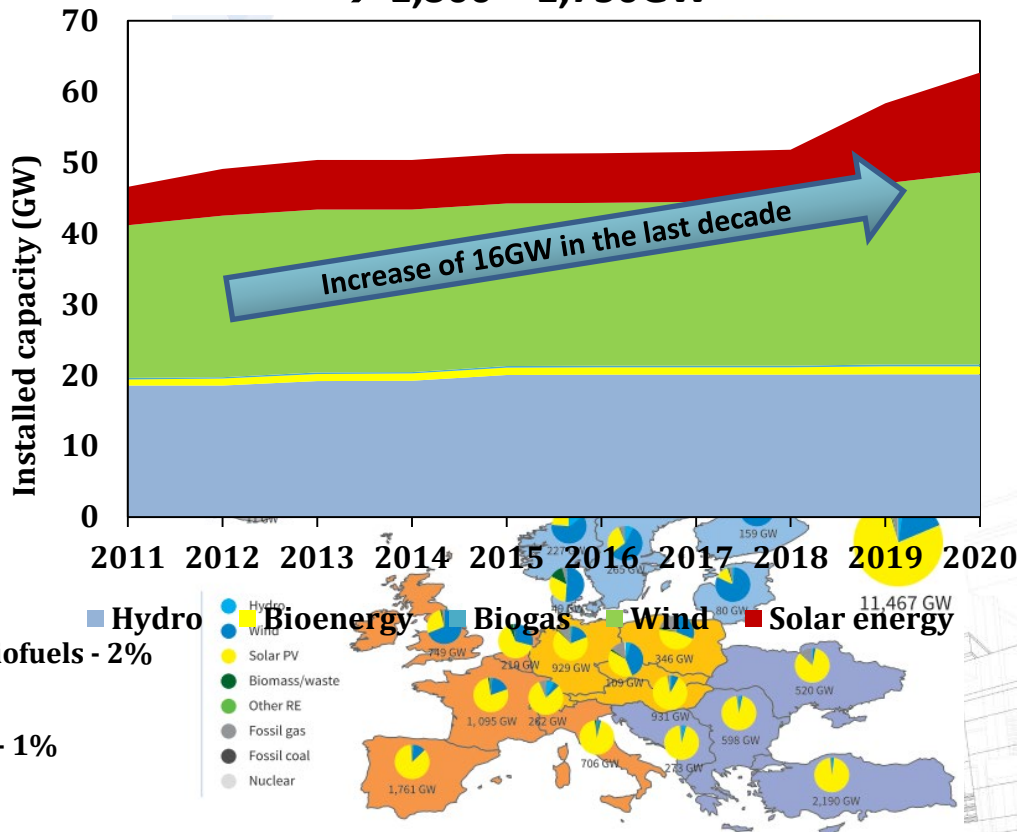


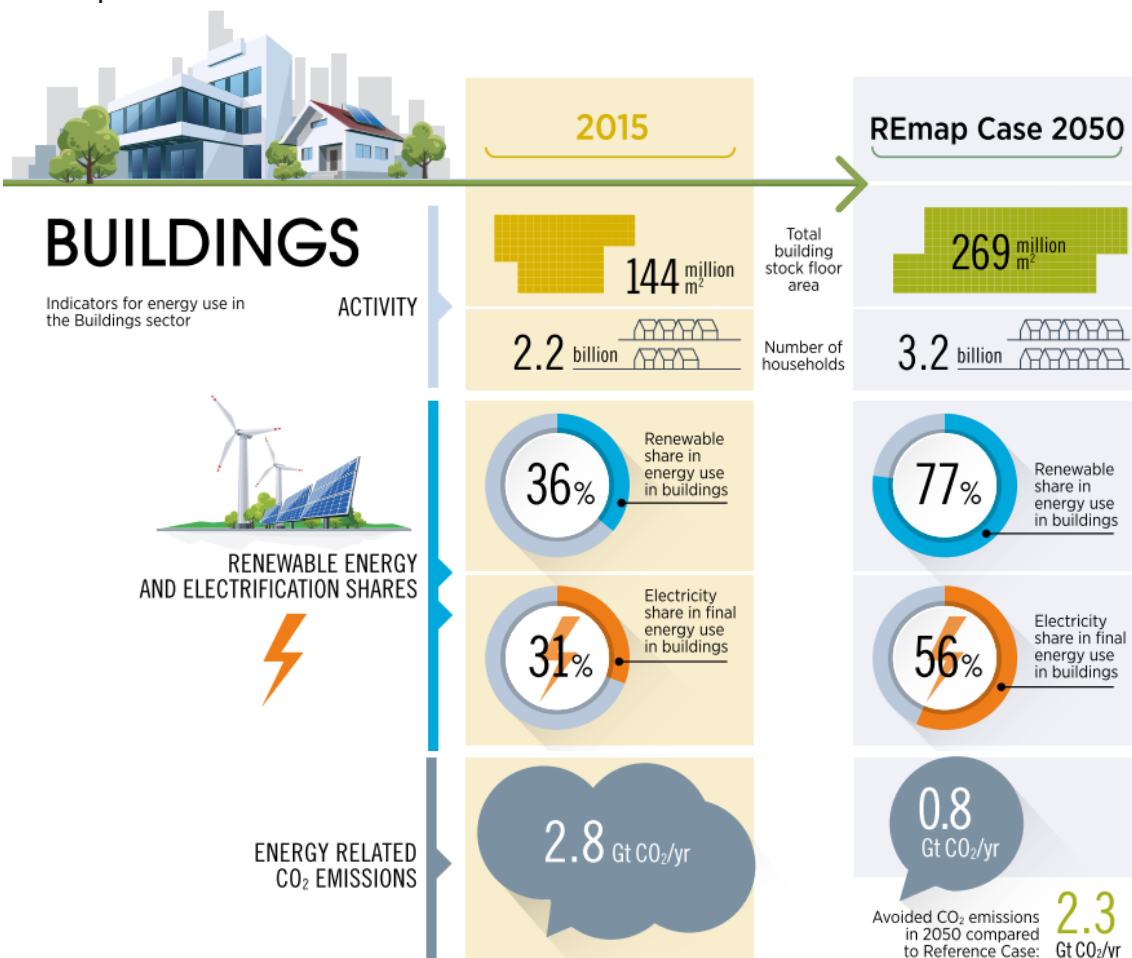
The climate change situation

Electricity generation in Spain (2019)



RES installed capacity in Spain (2020) → 69,7 GW
→ 1,300 – 1,750 GW





- The number of **households** is estimated in **3,200 million by 2050** (increase of 1,000 million compared to 2015).
- To achieve the climate goals it is necessary:
 - 77% RES energy in buildings**
 - Increase electrification rate from 31% to 56%**
- This results in a **reduction 2.3 Gt CO₂/yr by 2050** compared to the same year without applying the aforementioned measures.

Sudoe [1] IRENA (2018), "Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050".

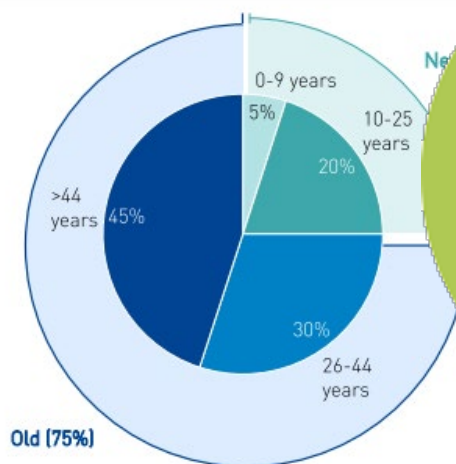


Residential and buildings sector → responsible for 40% of final energy consumption in Europe

Building stock in Europe (≈285 million)

- Old buildings (over 25 years) → 75%
- New buildings (below 25 years) → 25%

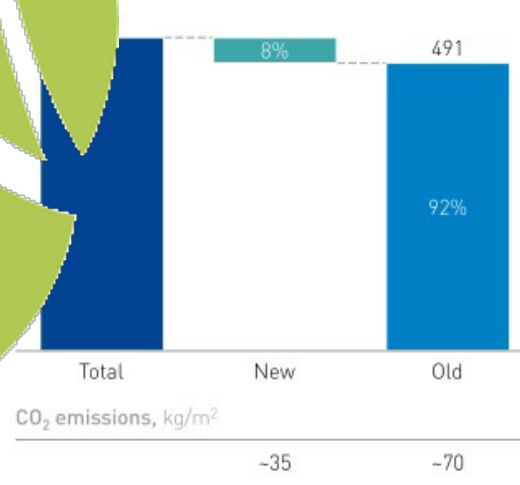
Buildings stock in Europe
Percent of age category



Building emissions:

- Old buildings (over 25 years) → 92%
- New buildings (below 25 years) → 8%

CO₂ emissions from buildings stock,¹
Shares, percent of age groups

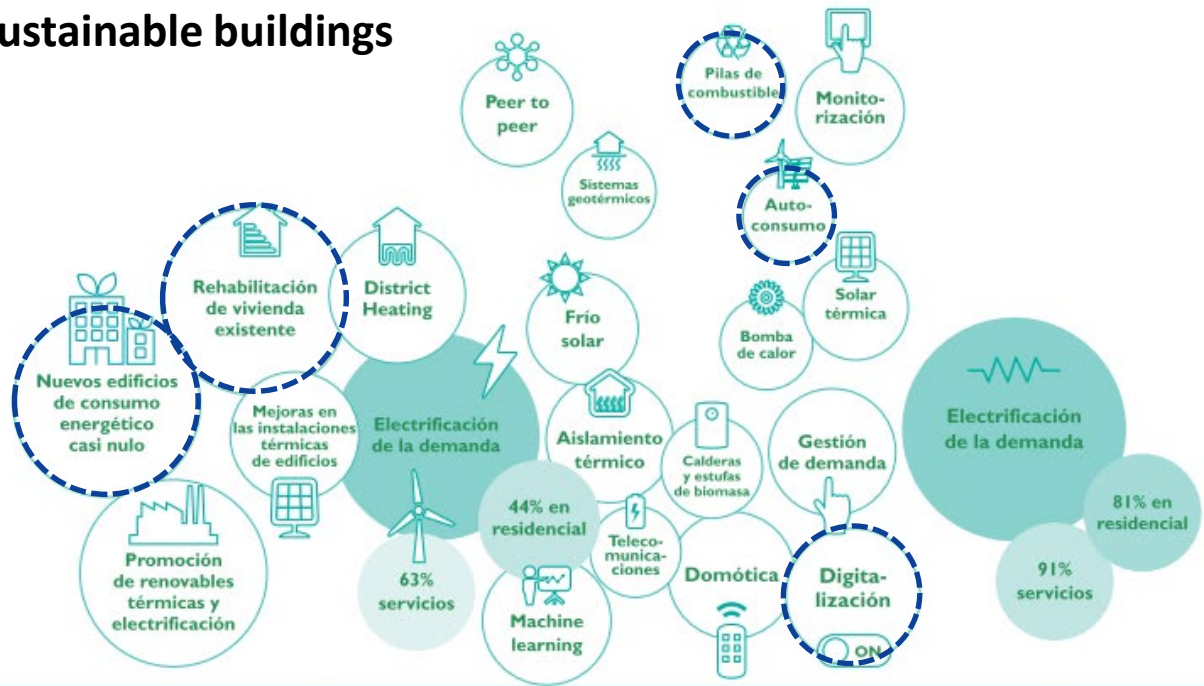


[1] FCH Joint Undertaking (2019), "Hydrogen Roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition".

[2] BPIE (2011), "Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance in buildings".



Spanish strategy for sustainable buildings



Sudoe

[1] MITECO (2020), "Estrategia a Largo Plazo Para Una Economía Española Moderna, Competitiva Y Climáticamente Neutra En 2050"

EFFICIENT ENERGY

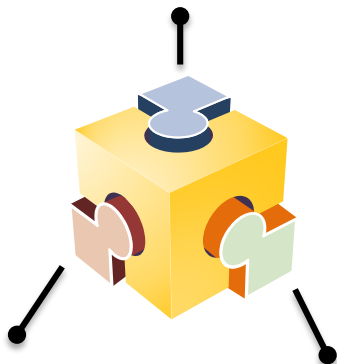
for public social housing



Hydrogen is a clean, safe and versatile energy carrier, suitable from large energy quantities to small backup systems.

TIME-SHIFTING

It can be stored over relatively long periods of time

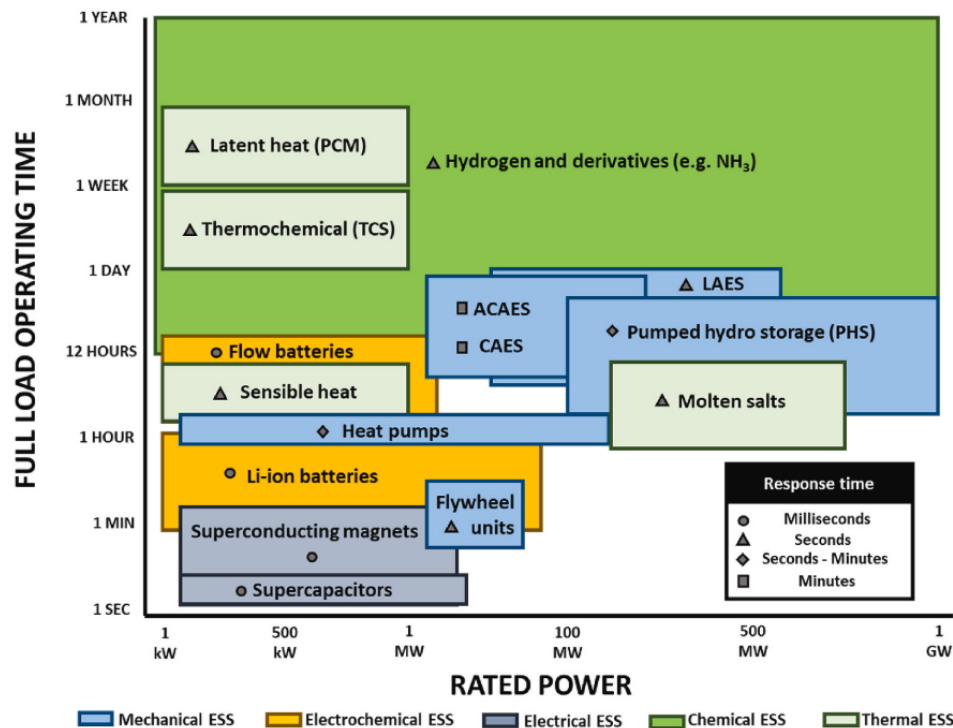


LOCATION-SHIFTING

Reduce infrastructure investments for integrated renewable energy

END-USE SHIFTING

It is not restricted to produce electricity



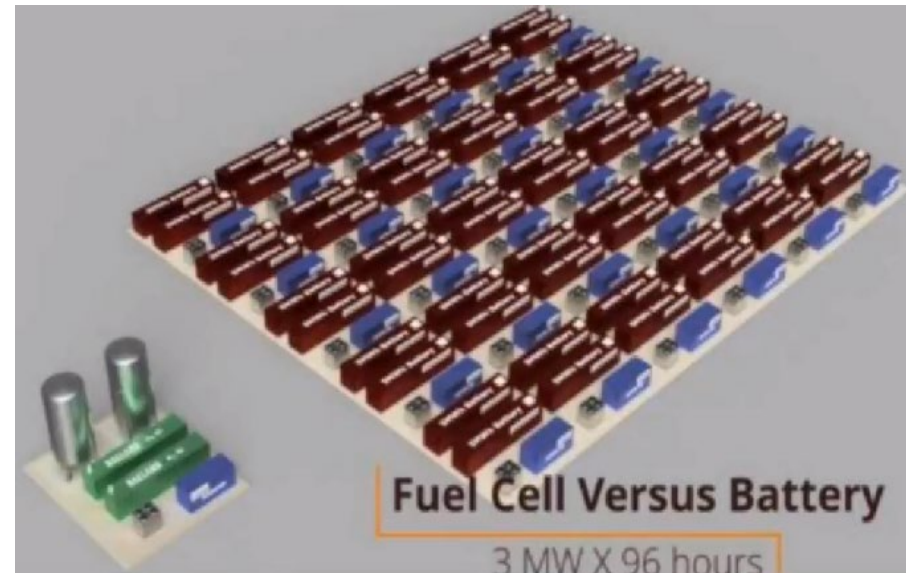
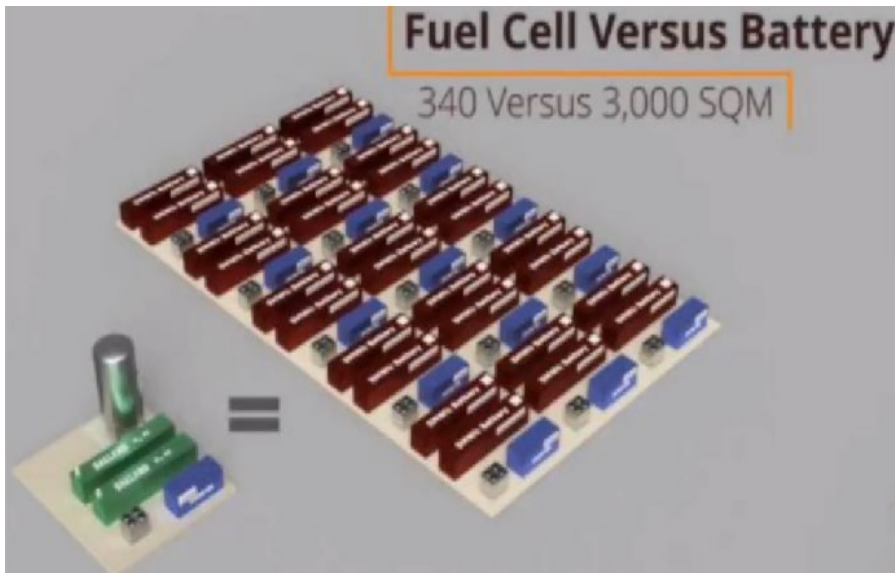
[1] SBC Energy Institute (2015), "Hydrogen Analysis"

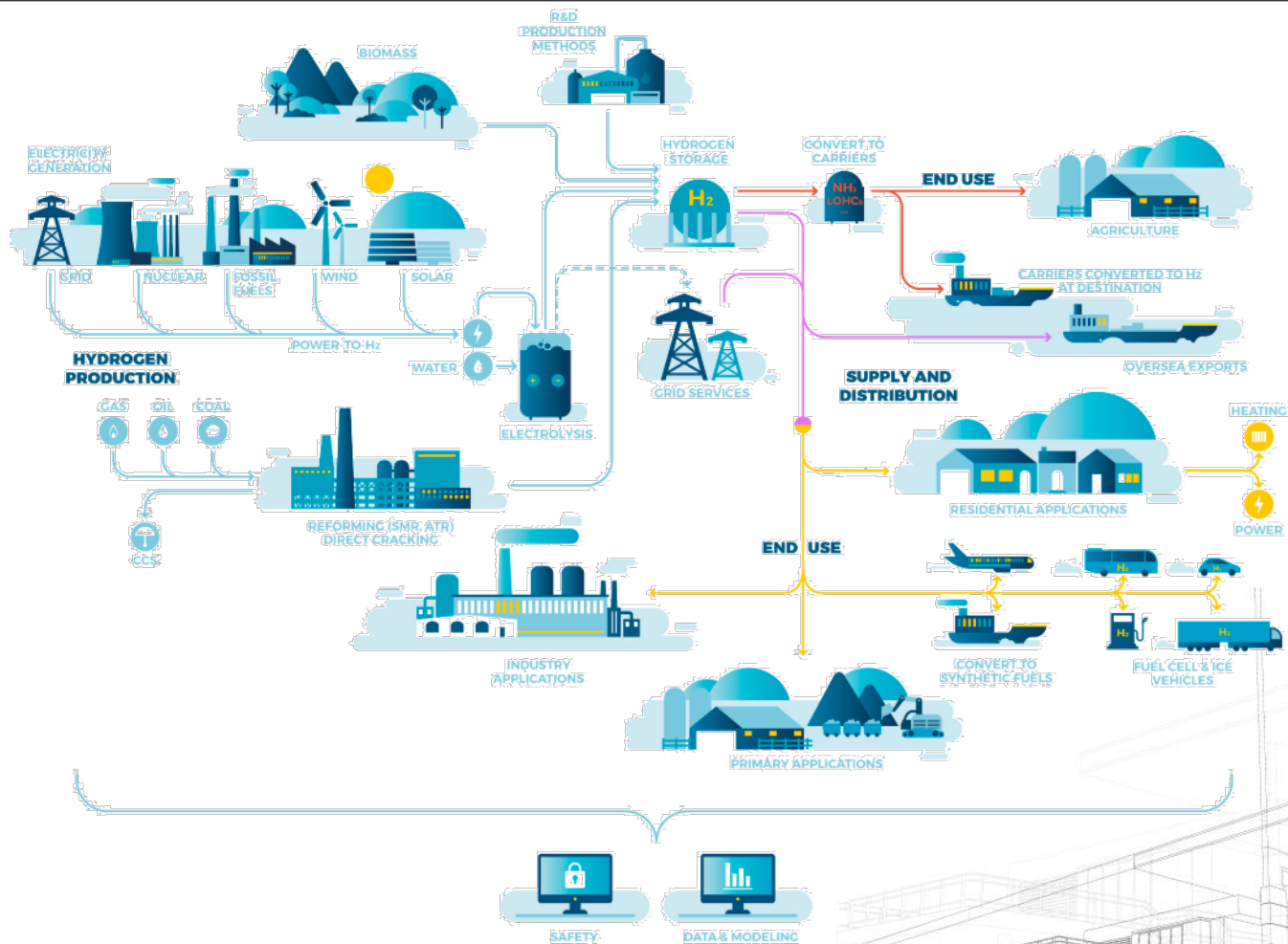
[2] Maestre, V.M. et al (2021), "Challenges and prospects of renewable hydrogen-based strategies for full decarbonization of stationary power applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews



Fuel Cell and hydrogen storage vs Batteries:

- 3MW of uninterrupted power during 48 hours.
- 3MW of uninterrupted power during 96 hours.





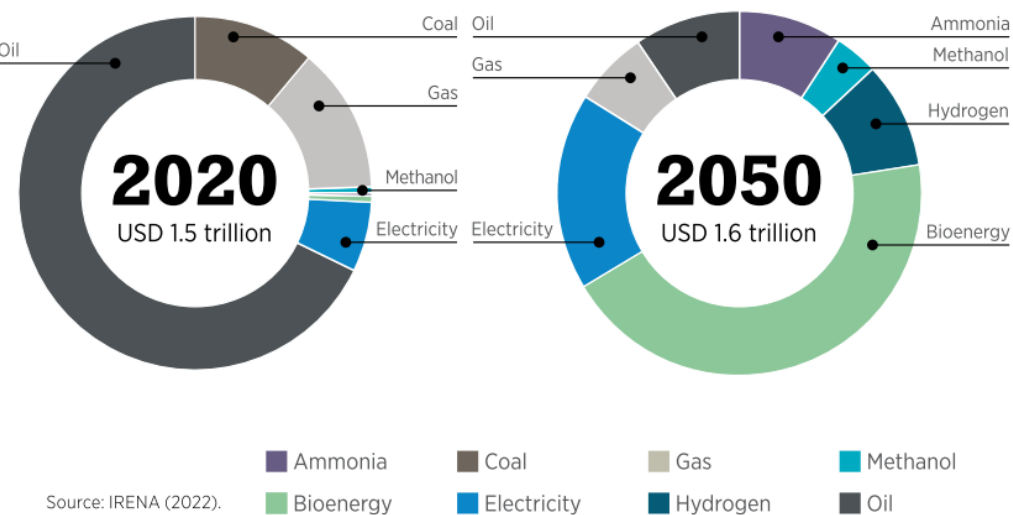
Sudoe [1] IEA Hydrogen TCP (2022), <https://www.ieahydrogen.org/>

EFFICIENT ENERGY

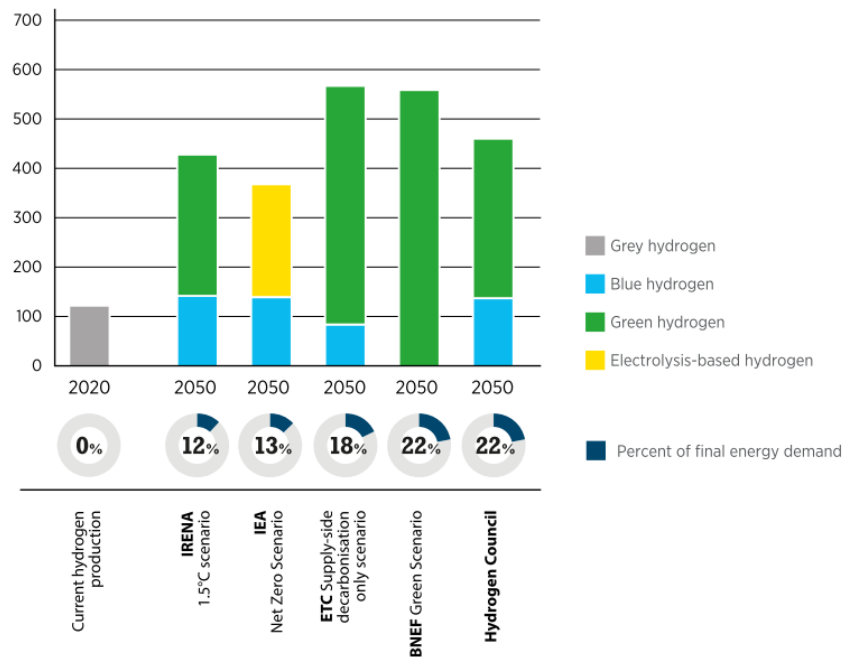
for public social housing



Figure S.1 Shifts in the value of trade in energy commodities, 2020 to 2050






Hydrogen production (Million tonnes)



- **Hydrogen and its derivatives (ammonia, methanol, etc.) are likely to turn upside down the current value trade in energy commodities, overcoming oil and gas.**
- Different international organisms and agencies estimate a **great share of hydrogen consumption in the final energy demand (12 – 22%) multiplying by 4 to 6 times its current demand.**



Hydrogen typologies according to its origin

	GREY HYDROGEN	BLUE HYDROGEN	GREEN HYDROGEN
Process	Reforming or gasification	Reforming or gasification with carbon capture	Electrolysis
Energy source	Fossil fuels 	Fossil fuels 	Renewable electricity 
Estimated emissions from the production process ^a	Reforming: 9 - 11 ^b Gasification: 18 - 20	0.18 - 6.1 ^c	0

Nueva capacidad anual de electrolizadores



- Now, **around 99%** of hydrogen produced globally comes from **fossil fuels**.
- **Green hydrogen from water electrolysis and renewable energies** is the only current and realistic alternative for **large hydrogen production**.
- Thus, an **exponential growth in electrolyzers capacities** is expected in the upcoming years.

[1] IRENA (2022), "The Geopolitics of Energy Transformation. The hydrogen factor".

[2] El periódico de la energía (2021), "El hidrógeno y toda su gama de colores", <https://elperiodicodelaenergia.com/el-hidrogeno-y-toda-su-gama-de-colores/>



Hydrogen strategies worldwide and those in preparation, October 2022



H₂ potential has attracted the interest of tens of countries so far around the world!

Sudoe [1] IRENA (2022), "The Geopolitics of Energy Transformation. The hydrogen factor".



Spanish objectives for green H₂ - 2030



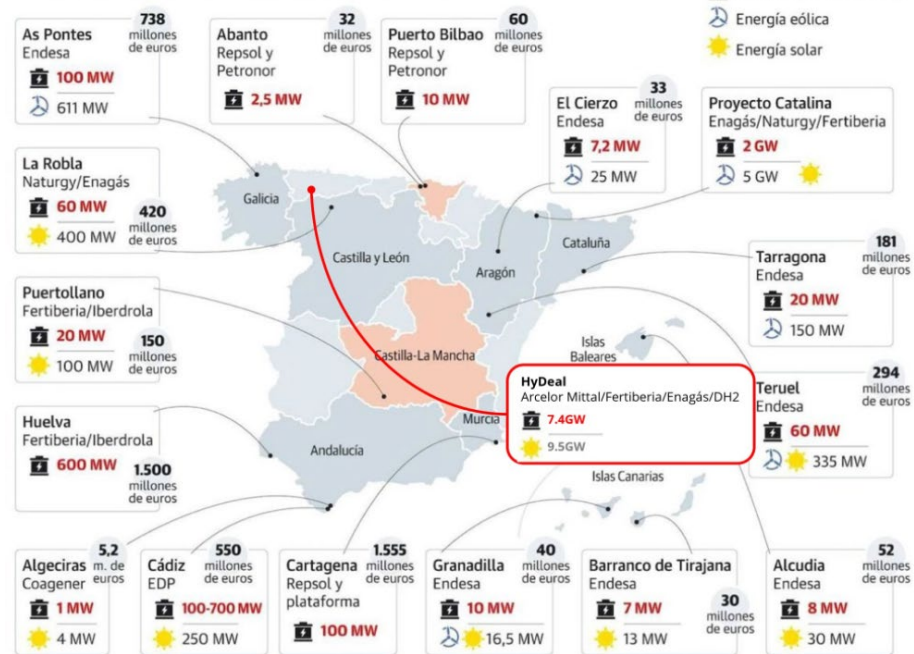
PERTE ERHA 2021 - 2025

ÁMBITO	LÍNEAS	Inversión Pública	Inversión Privada
Medidas transformadoras del PERTE ERHA	Renovables innovadoras	765 M€	1.600 M€
	Almacenamiento, flexibilidad y nuevos modelos de negocio	620 M€	990 M€
	Hidrógeno Renovable	1.555 M€	2.800 M€
	Transición Justa	30 M€	
	Sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación	588 M€	-
SUBTOTAL		3.558 M€	5.390 M€
Medidas facilitadoras	Transición Energética	2.245 M€	2.303 M€
	Movilidad con gases renovables	80 M€	143 M€
	Capacitación, formación profesional y empleo	496 M€	-
	Ámbito tecnológico y digital	541 M€	1.614 M€
SUBTOTAL		3.362 M€	4.060 M€
TOTAL PERTE ERHA		6.920 M€	9.450 M€
TOTAL		16.370 M€	

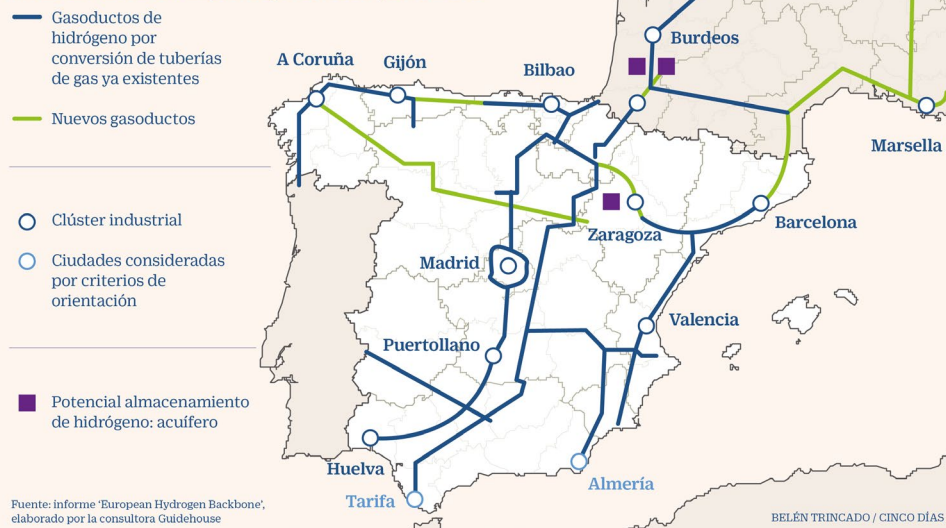


Principales proyectos de hidrógeno verde en España

Estas iniciativas competirán con las asturianas para captar fondos europeos



Hidroductos en España previstos para 2040



Planned EL capacity 2030 → 11.7GW (PNIEC target → 4GW)

Sudoe

EFFICIENT ENERGY

for public social housing

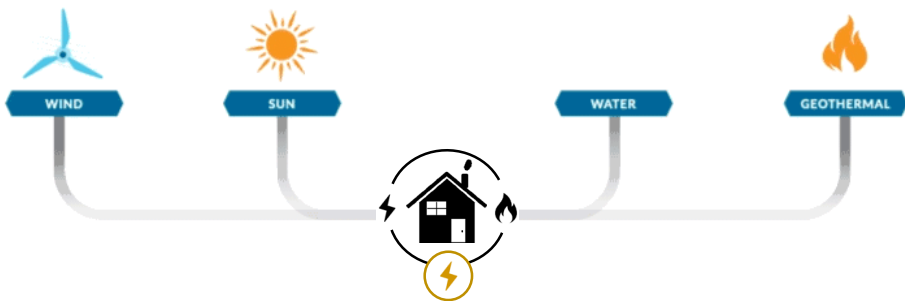


[1] EL COMERCIO (2022), "La fiebre del hidrógeno verde se contagia"
[2] EL PAÍS (2022), "El hidrógeno verde llega a buen puerto"



How does green H₂ work in buildings?

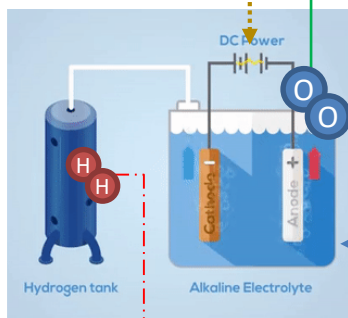
Renewable energy sources



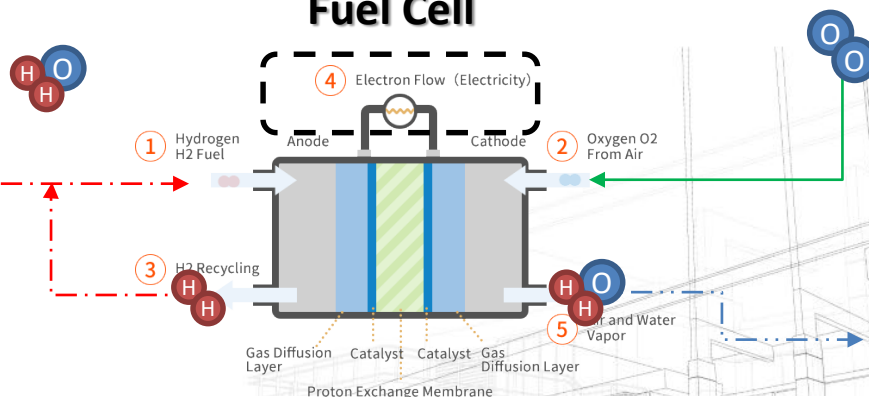
Efficient and sustainable home



Electrolyzer + H₂ storage



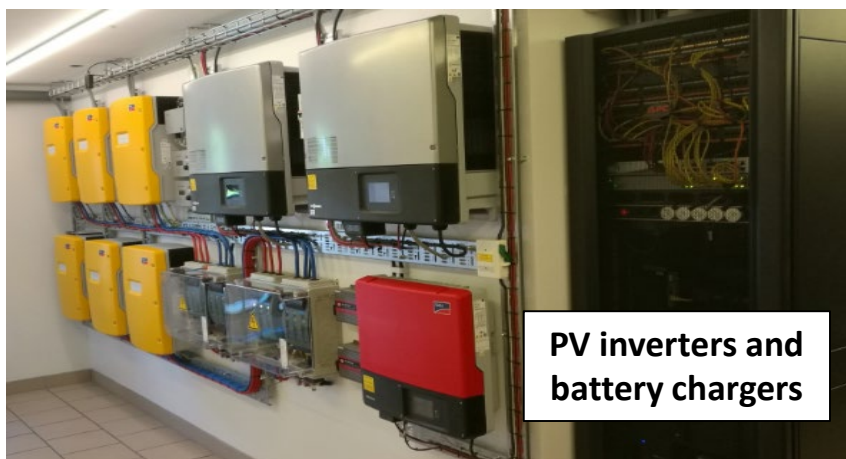
Fuel Cell



Off-grid H₂ house (Sweden)



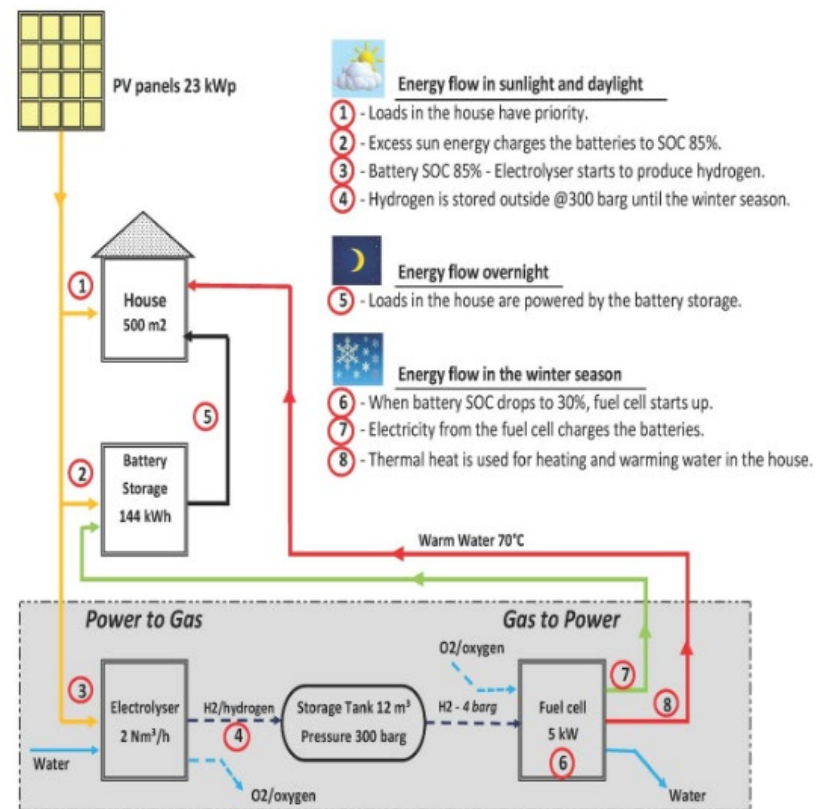
PV panels – 23kW



PV inverters and battery chargers

System diagram

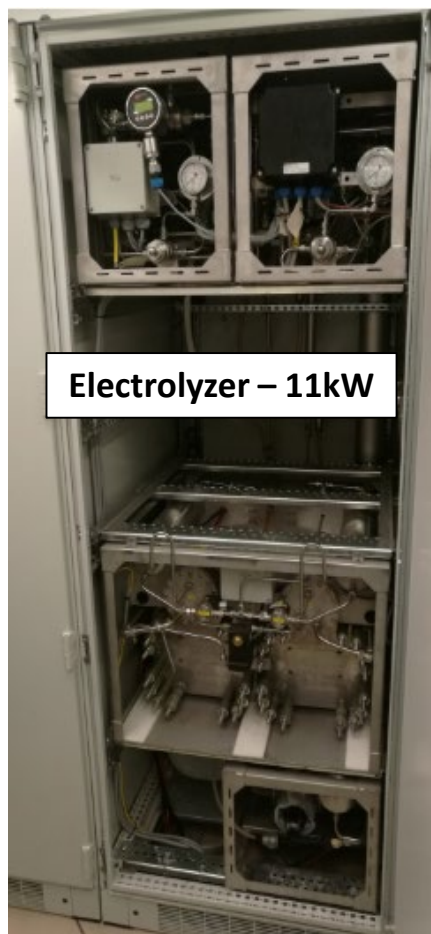
Power to gas installation keeps a family home and their EV's running around the year



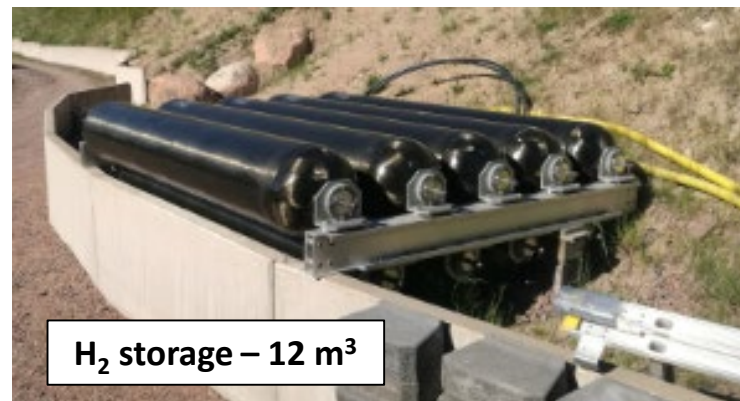
Sudoe [1] NILSSON ENERGY (2017), "A true Pioneer goes off-grid", <http://www.hystorsys.no/download/A%20True%20Pioneer%20Goes%20Off-Grid.html>



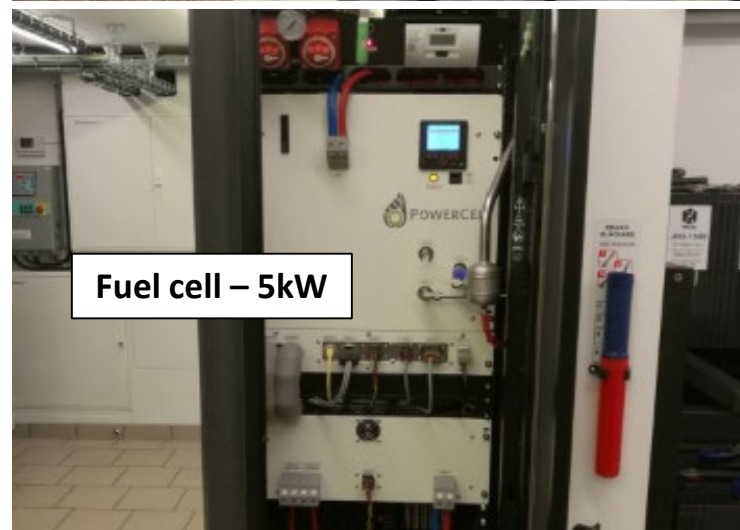
Off-grid H₂ house (Sweden)



Electrolyzer – 11kW



H₂ storage – 12 m³



Fuel cell – 5kW

Sudoe [1] NILSSON ENERGY (2017), "A true Pioneer goes off-grid", <http://www.hystorsys.no/download/A%20True%20Pioneer%20Goes%20Off-Grid.html>



SOLAR, HYDROGEN AND FUEL CELLS COMBINED

Public housing project goes off-grid in Sweden



Sudoe [1] Jensen, M. (2020), "Solar, hydrogen and fuel cells combined", H₂ International

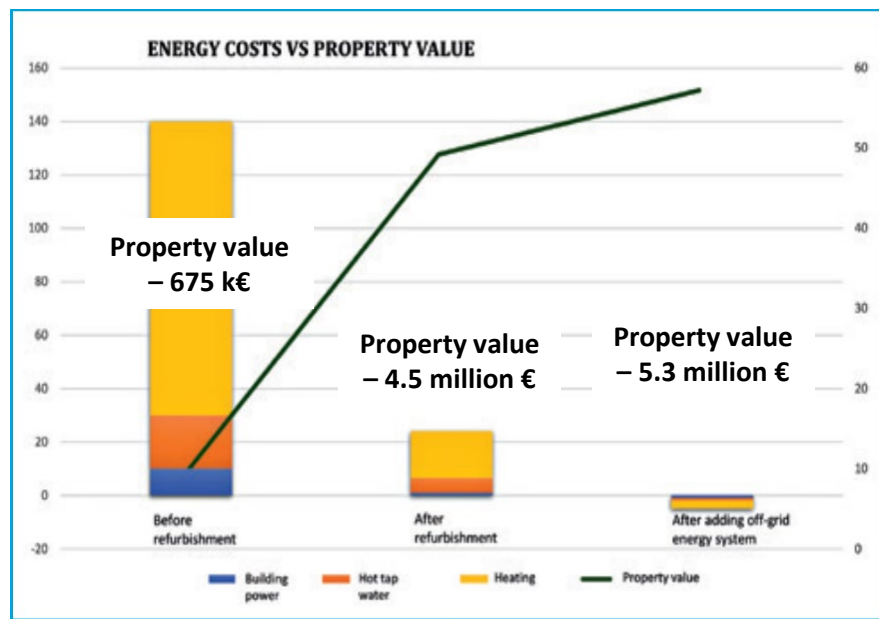
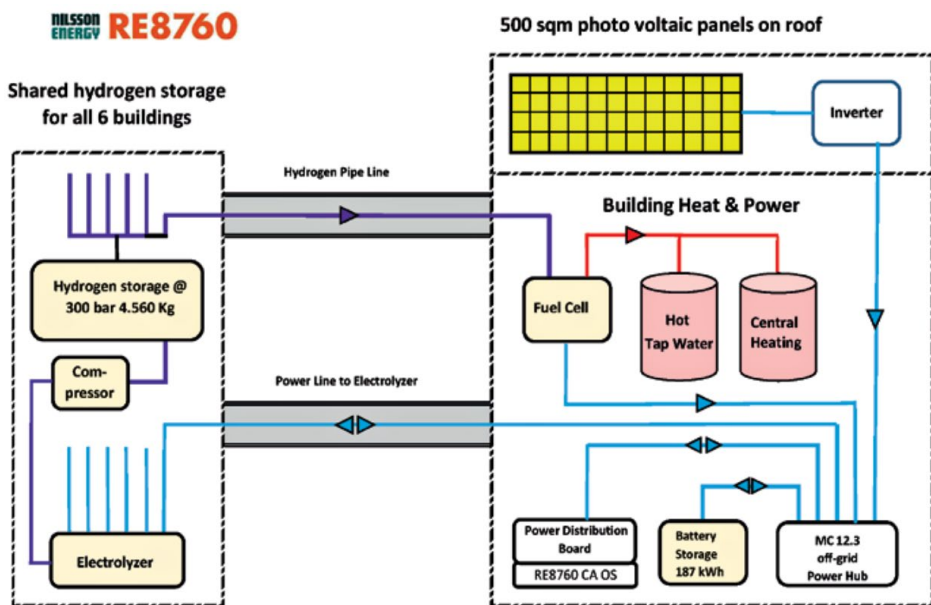
EFFICIENT ENERGY

for public social housing



Off-grid public housing (Sweden)

System diagram



Pre-renovation
- 140 kWh/m²

Post-renovation
- 25 kWh/m²

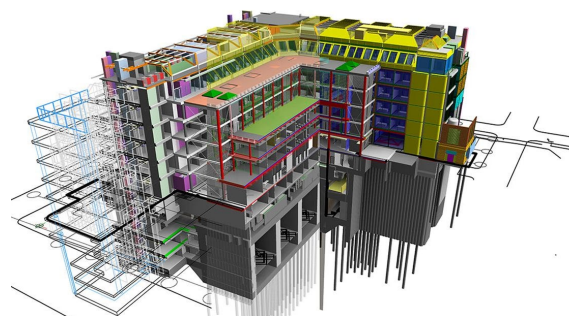
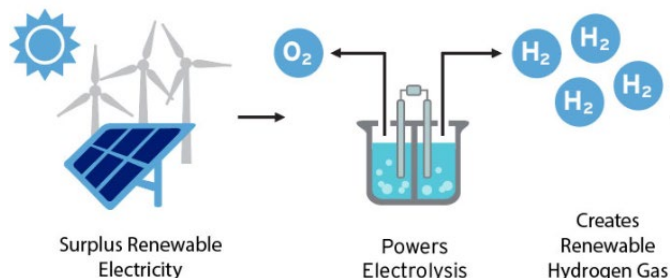
After H₂ system installation
- 4 kWh/m²
(target 0 kWh/m²)

Sudoe [1] Jensen, M. (2020), "Solar, hydrogen and fuel cells combined", H₂ International



SUDOE ENERGY PUSH project

The project **INTERREG SUDOE ENERGY PUSH project** funded by European Regional Development Funds (ERDF) aims at **improving energy efficiency policies and promoting the use of renewable energy sources in public buildings and housing** through the implementation of **BIM methodology and hydrogen-based technologies.**



Sudoe [1] SUDOE ENERGY PUSH, <https://www.sudoe-energypush.eu/>

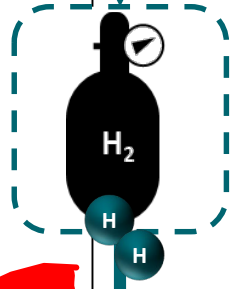
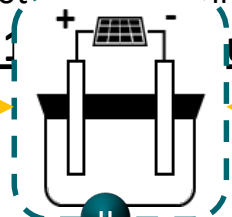
EFFICIENT ENERGY

 for public social housing

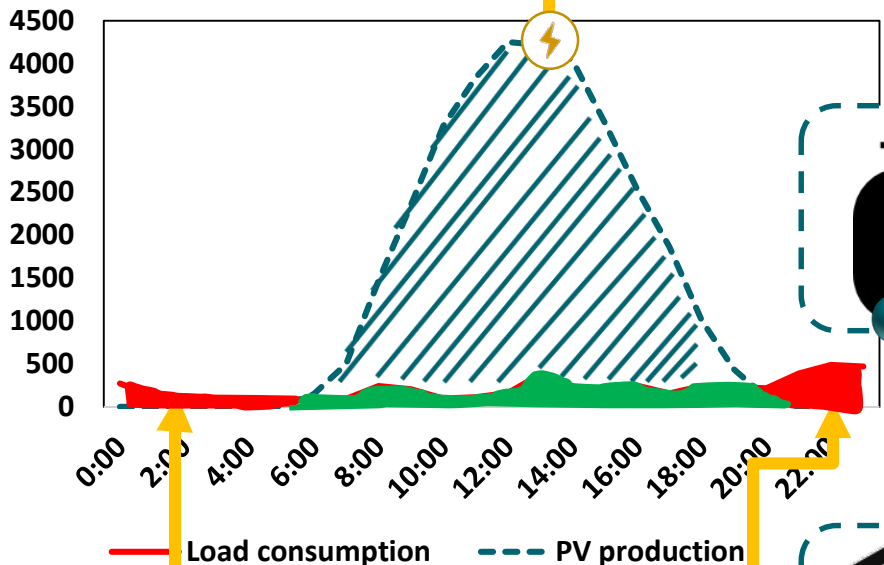


SUDOE ENERGY PUSH project

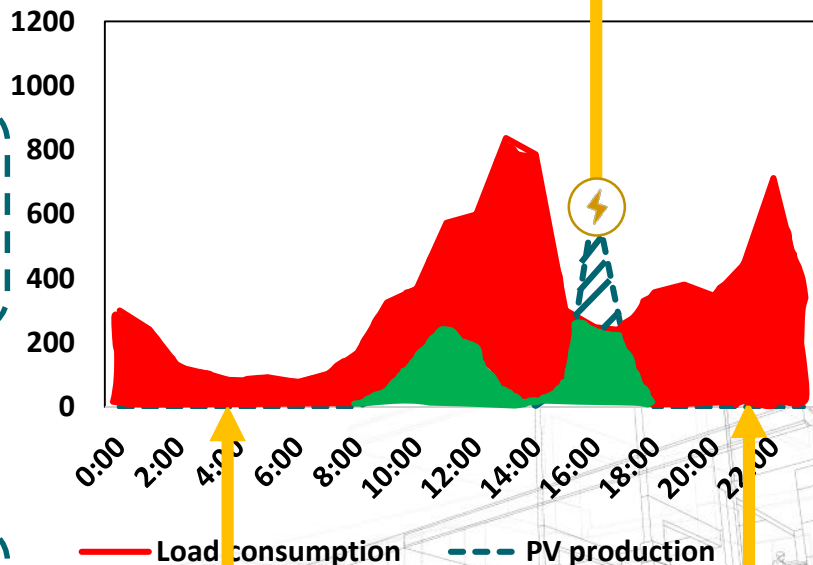
Design and implementation of a pilot plant combining **renewable energy sources and hydrogen-based technologies** for a **self-sufficient** social house in Cantabria (Spain).



Load consumption vs PV production – Sunny day



Load consumption vs PV production – Cloudy/Rainy day



Sudoe

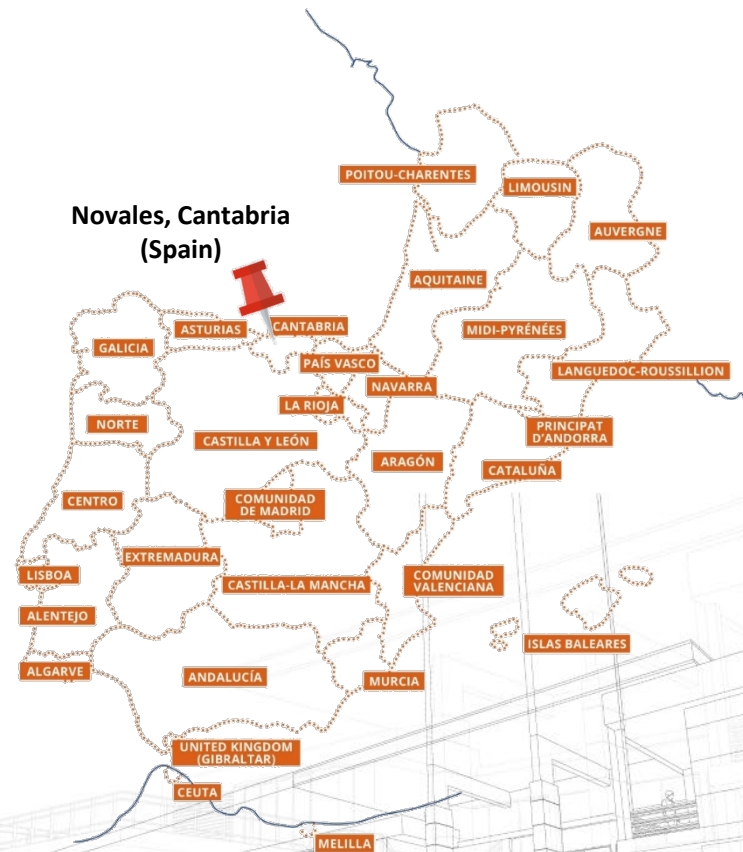
EFFICIENT ENERGY

 for public social housing

Pilot plant Novales (Spain)



Selected building for the pilot plant, built in 2010



Pilot plant Novales (Spain)



The objective of the pilot plant is to achieve the 100% self-sufficiency of a single home within the building combining renewable energies and novel hydrogen technologies.



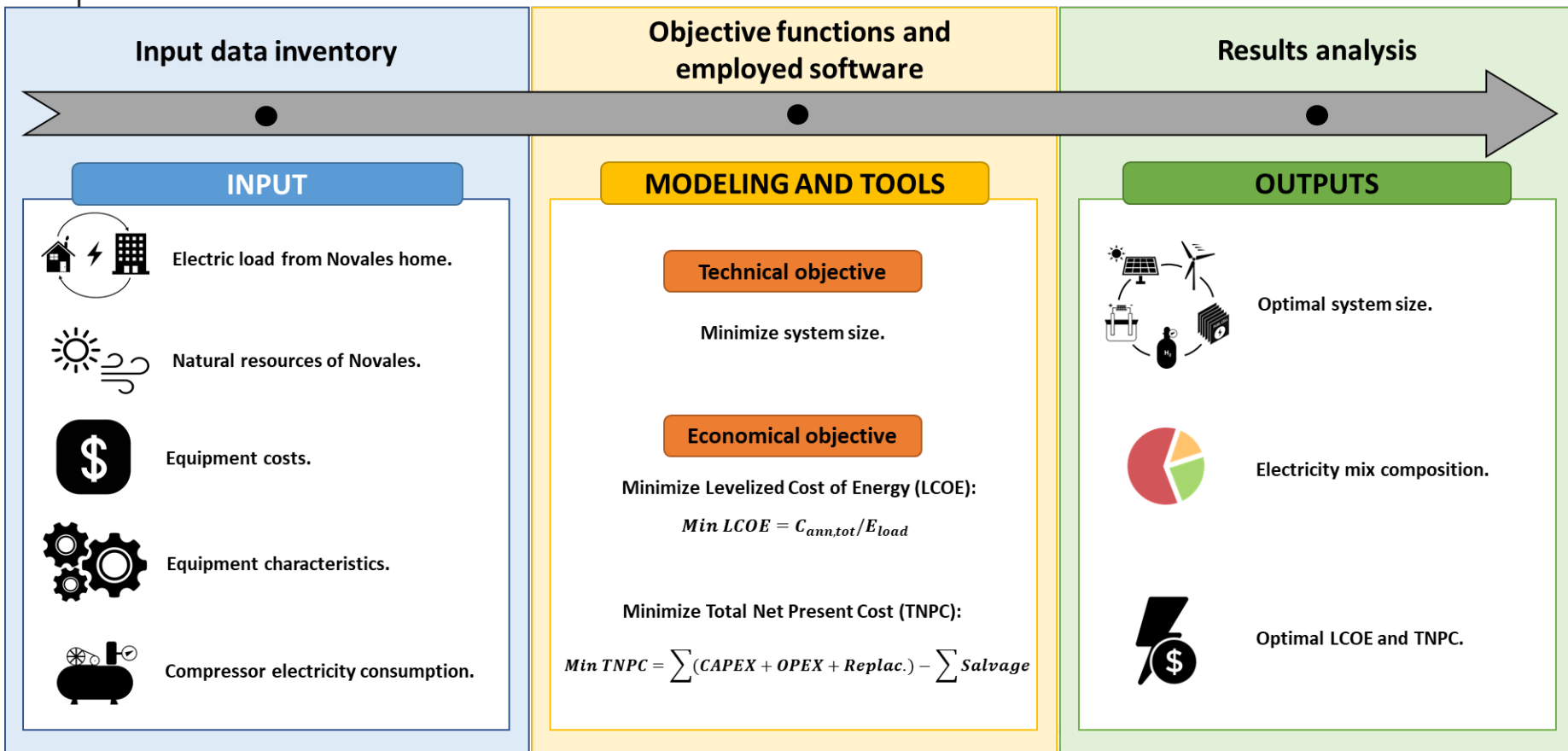
Bloque A. Planta primera	Vivienda A		Vivienda B		Vivienda C	
Vestíbulo	4,95		4,95		4,55	
Cocina	9,00		9,00		9,25	
Estar-comedor	19,15		19,15		19,15	
Pasillo	5,30		5,30		5,35	
Cuarto de baño 1	2,65		2,65		2,35	
Cuarto de baño 2	3,80		3,80		4,05	
Dormitorio 1	12,35		12,35		12,10	
Dormitorio 2	11,65		11,65		10,70	
Dormitorio 3	10,00		10,00		10,90	
Superficie útil cerrada	78,85		78,85		78,40	
Tendedero (50%)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,00	5,00
Balcón (50%)	-	-	-	-	4,00	-
Superficie útil total	80,00		80,00		83,40	

Sudoe

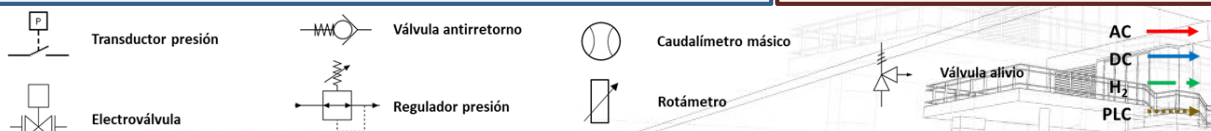
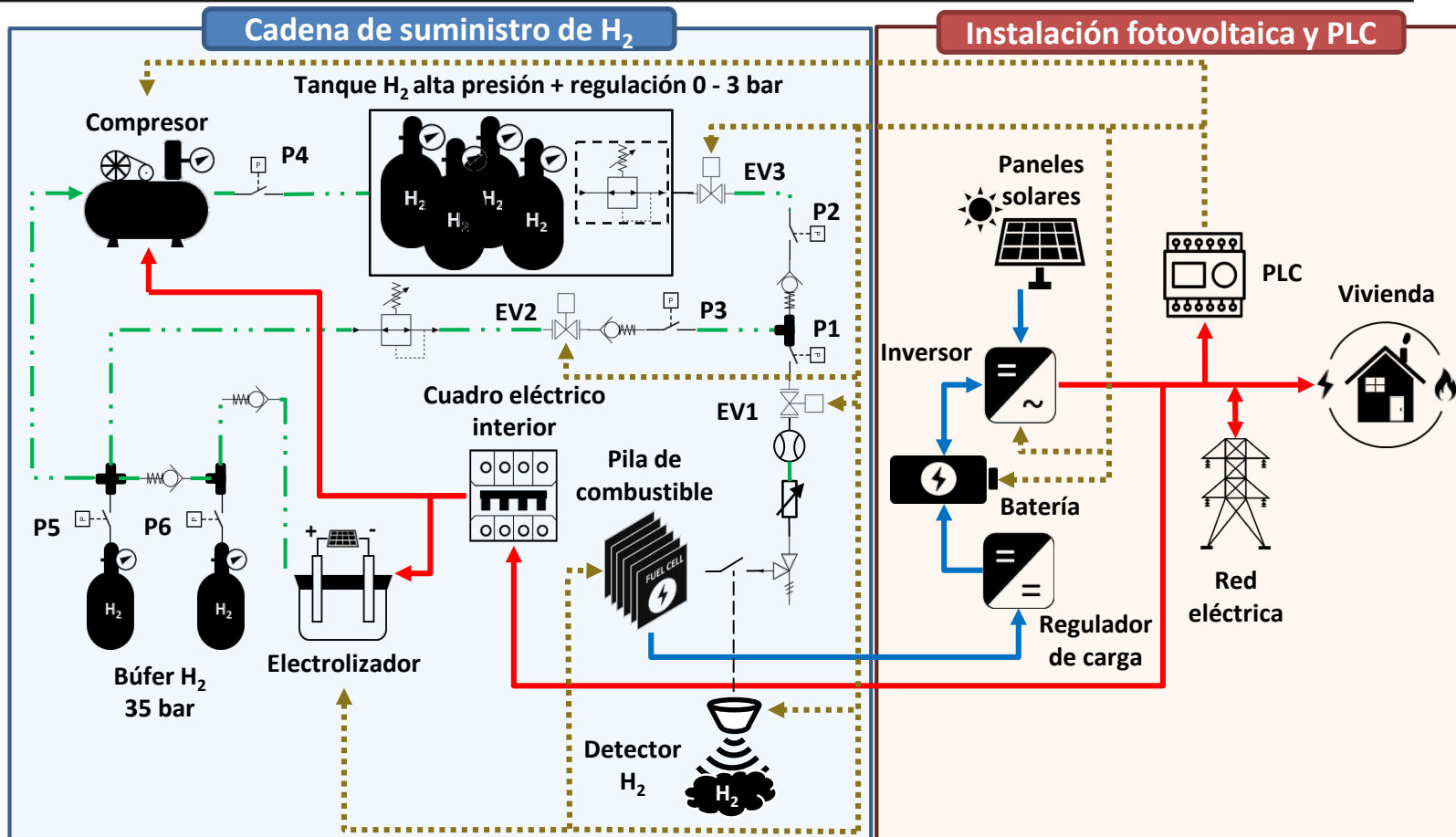
EFFICIENT ENERGY

for public social housing





Pilot plant Novales (Spain)



Legal framework for pilot plant deployment:

- No specific H₂ regulation for residential applications.
- Standard regulations concerning PV self-consumption.¹
- **Storage category 2** → Stored hydrogen **below 175 Nm³**. Safety distances of **4 m** and **6 m** to **public streets** and **surrounding buildings** respectively.^{2,3}
- Acoustic quality standards in residential buildings⁴:

Type of area	Noise indexes (dBA)		
	Day	Evening	Night
Rooms	45	45	35
Bedrooms	40	40	30



¹ "Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica."

² "Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10."

³ "ITC MIE-APQ-5: Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión."

⁴ "Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas."



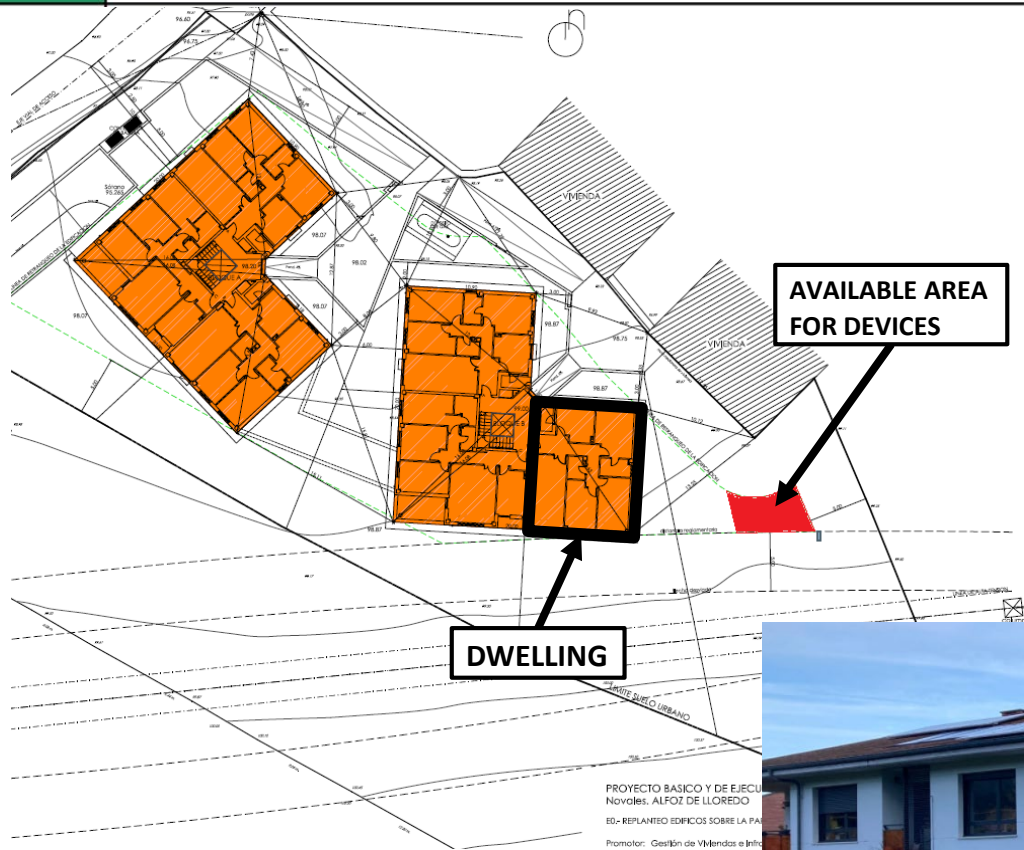
Pilot plant Novales (Spain)

- Summary of applicable legislation for fuel cell, hydrogen generation & storage, renewables self-consumption, safety and crosscutting topics:

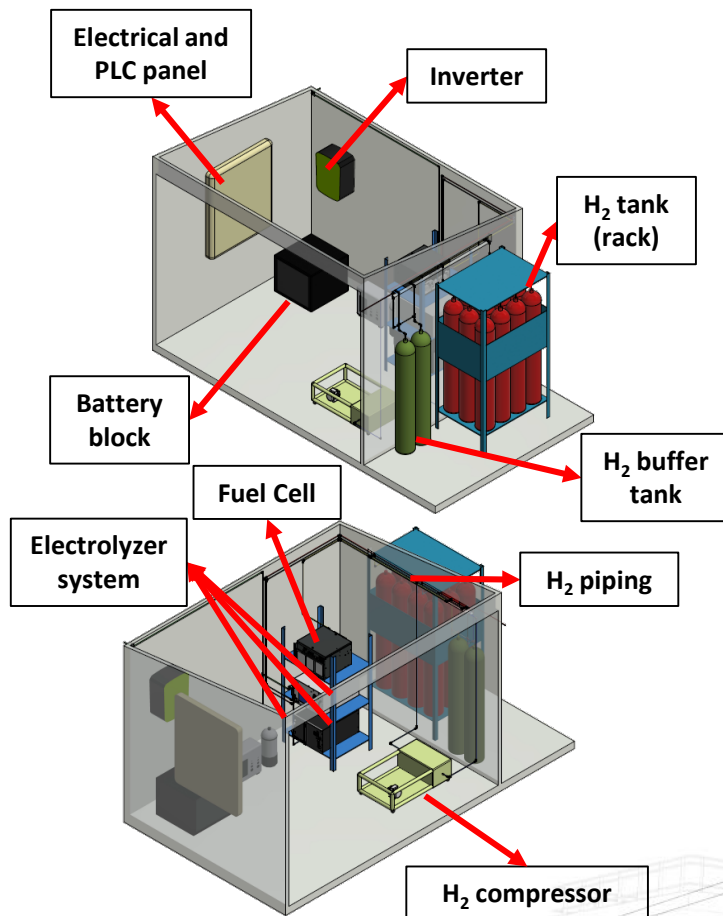
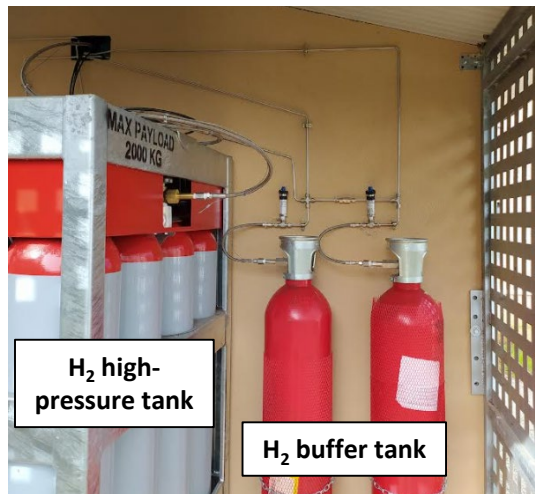
Country/ Region	Topic	Reference	Title	Publication Date
Europe/International	Fuel Cell	EN IEC 62282-3-100	Fuel cell technology. Stationary fuel cell power systems - Safety	2020
Europe/International	Fuel Cell	EN IEC 62282-3-100	Fuel cell technology. Stationary fuel cell power systems - Installation	2012
Europe/International	Fuel Cell	ISO 14687:2019	Hydrogen fuel quality - Product specification	2019
Europe/International	Hydrogen Generation	ISO 22734:2019	Hydrogen generators using water electrolysis – Industrial, commercial and residential applications	2019
Europe/International	Hydrogen Storage	EN 17533	Gaseous hydrogen - Cylinders and tubes for stationary usage	2020
Europe/International	Hydrogen Storage	ISO 16111	Transportable gas storage devices - Hydrogen absorbed in reversible metal hydride	2018
Europe/International	Safety and crosscutting topics	2001/42/EC	Assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment (SEA Directive)	2001
Europe/International	Safety and crosscutting topics	2006/42/EC	Machinery directive	2006
Europe/International	Safety and crosscutting topics	2009/147/EC	Conservation of wild fowl	2009
...



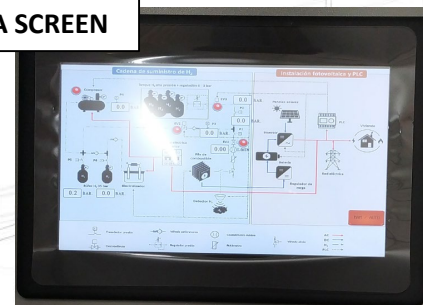
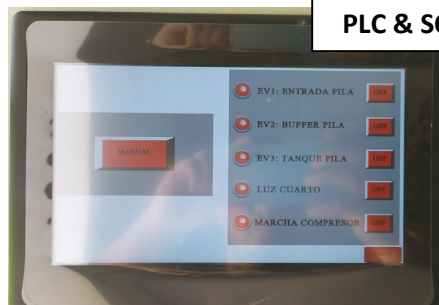
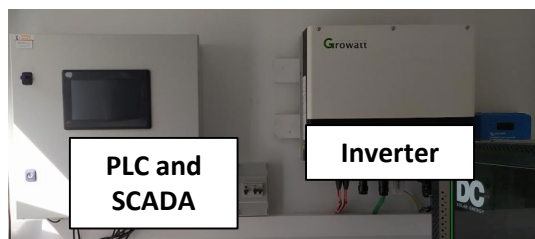
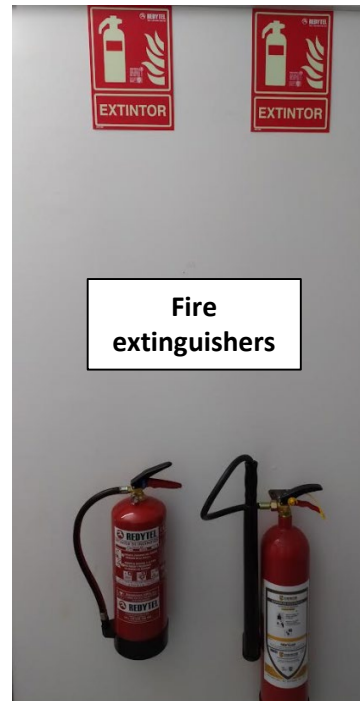
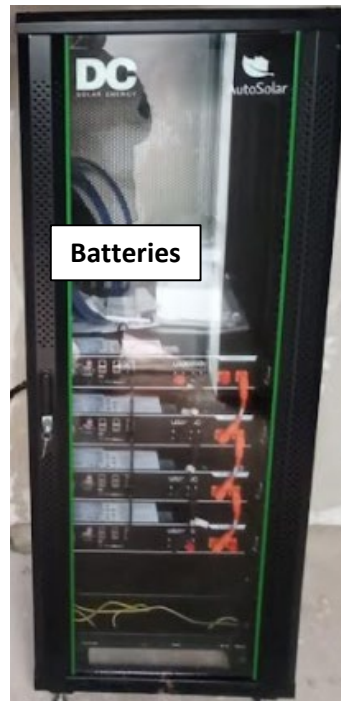
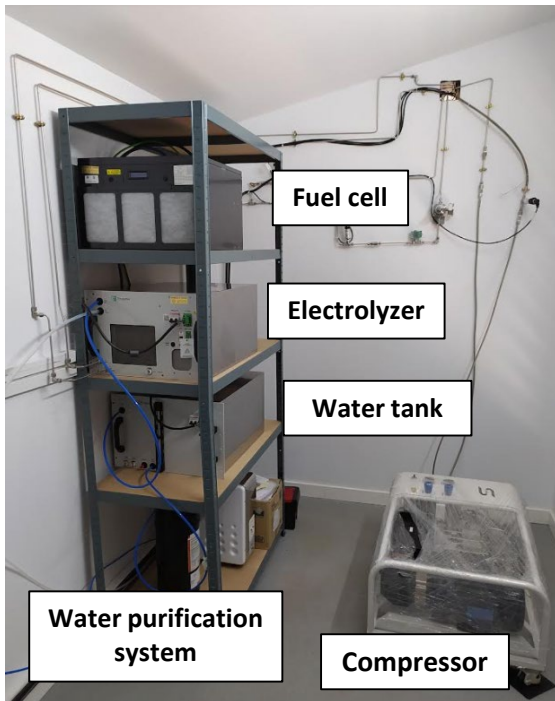
Pilot plant Novales (Spain)



Pilot plant Novales (Spain)



Pilot plant Novales (Spain)



MANUAL

●

EV1: FUEL CELL INLET

OFF

●

EV2: BUFFER-FUEL CELL

OFF

●

EV3: TANK-FUEL CELL

OFF

●

LIGHT

OFF

●

START COMPRESSOR

OFF

●

ENABLE FUEL CELL

OFF

●

RUN FUEL CELL

OFF

ELECTROLYZER

START / STOP

OFF

ON

⏻

STATUS	2	
TOTAL PRODUCTION H2	41375,27 NL	
FLOW PRODUCTION H2	nan NL/H	
STACK CURRENT	0,082 A	

STACK VOLTAGE	0,156 V	
ELECTROLYTE T°	24,18 °C	
DRYER INLET PRESSURE	0,00 BAR	
DRYER OUTLET PRESSURE	16,49 BAR	

PRESSURE TRANSDUCERS

<p>P1: FUEL CELL INLET</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>0,0 BAR.</p> <p><small>(0-4 BAR.)</small></p> </div> <p>P3: BUFFER OUTLET</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>0,1 BAR.</p> <p><small>(0-4 BAR.)</small></p> </div> <p>P5: BUFFER 1</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;"> <p>33,0 BAR.</p> <p><small>(0-40 BAR.)</small></p> </div>	<p>P2: H2 TANK OUTLET</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>0,1 BAR.</p> <p><small>(0-4 BAR.)</small></p> </div> <p>P4: COMPRESSOR OUTLET</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>84,3 BAR.</p> <p><small>(0-400 BAR.)</small></p> </div> <p>P6: BUFFER 2</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;"> <p>32,8 BAR.</p> <p><small>(0-40 BAR.)</small></p> </div>
--	--

PV PANELS

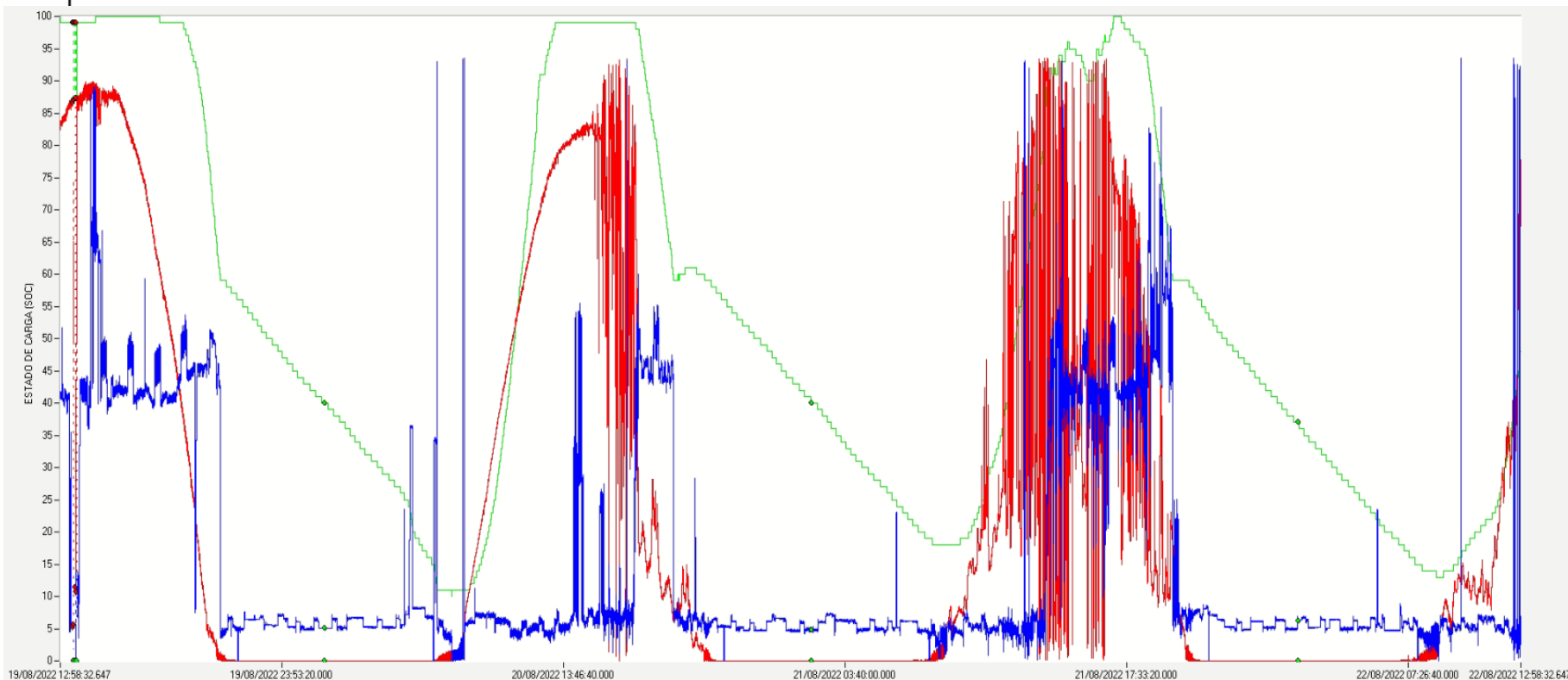
BATTERY VOLTAGE	49,9	V	TOTAL IMPORTED POWER TO GRID	92,5	KW/H
BATTERY STATE OF CHARGE (SOC)	92	%	PV PANELS POWER	890,0	W
BATTERY CHARGE POWER	0,0	W	ENERGY GENERATED PV PANELS STRING 1 TODAY	0,5	KW/H
BATTERY DISCHARGE POWER	0,0	W	TOTAL ENERGY GENERATED PV PANELS STRING 1	2386,6	KW/H
BATTERY CHARGE ENERGY TODAY	0,0	KW/H	ENERGY GENERATED PV PANELS STRING 2 TODAY	0,5	KW/H
BATTERY DISCHARGE ENERGY TODAY	0,0	KW/H	TOTAL ENERGY GENERATED PV PANELS STRING 2	2551,7	KW/H
EXPORTED POWER TO GRID	0,0	W	TOTAL ENERGY GENERATED PV PANELS	5685,4	KW/H
IMPORTED POWER FROM GRID	0,0	W	HOME POWER CONSUMPTION	890,1	W
EXPORTED POWER TO GRID TODAY	0,0	KW/H	HOME ENERGY CONSUMPTION	0,0	KW/H
IMPORTED POWER FROM GRGRID TODAY	0,0	KW/H			
TOTAL EXPORTED POWER TO GRID	3573,1	KW/H			



Sunny day

Sunny day till noon,
cloudy in the afternoon

Cloudy day



— PV panels output

— Load consumption

— Battery state of charge

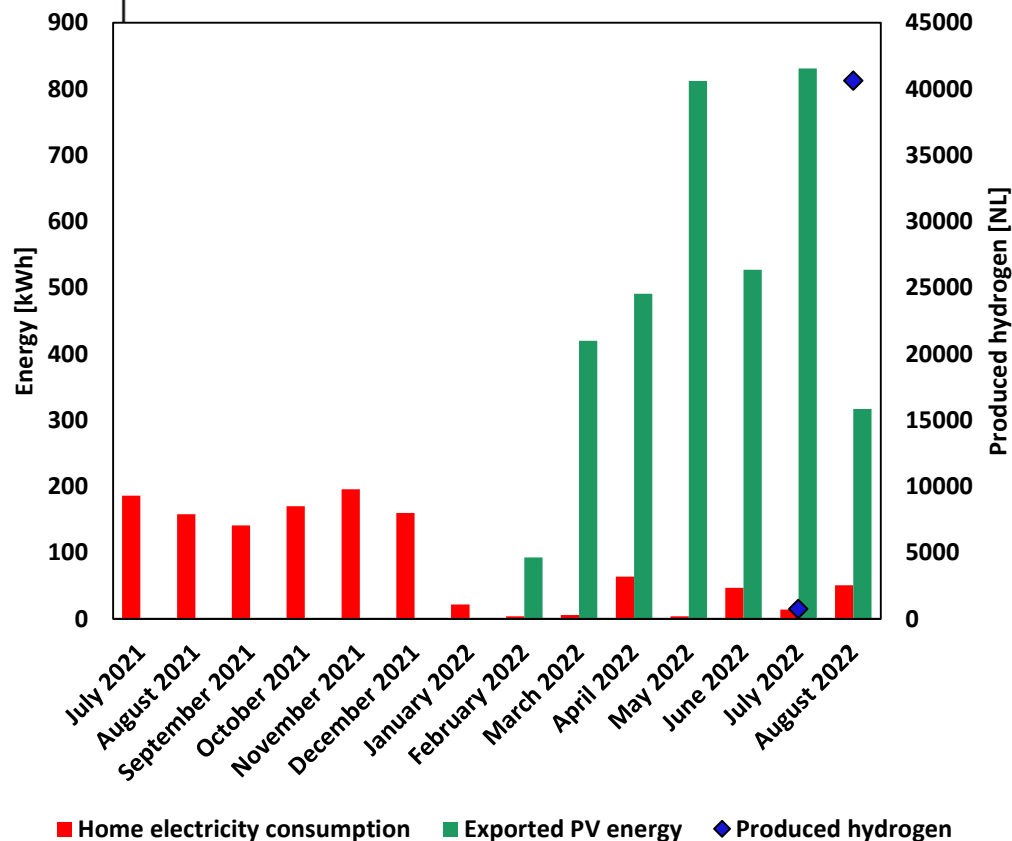
Sudoe

EFFICIENT ENERGY

for public social housing



Pilot plant Novales (Spain)



$$E_{useful,n} = \sum (E_{load} + E_{excess,year n})$$

$$Primary\ energy\ savings, year\ n = 2.403 \cdot \sum (E_{useful,n})$$

$$CO_2\ emissions\ savings, year\ n = 0.357 \left[\frac{kg\ CO_2}{kWh} \right] \cdot \sum (E_{useful,n})$$

$$Economic\ savings = 0.317 \frac{\text{€}}{kWh} \cdot \sum (E_{PV-load})$$

Estimated primary energy savings ^a (assuming average consumption of 170 kWh/month)	3,270 kWh 130% home demand (Jan 22/Aug 22)
CO ₂ emissions avoided	485.5 kg CO ₂ (Jan 22/Aug 22)
Estimated savings ^b (assuming utility grid price of 0.317€/kWh and average consumption of 170 kWh/month)	317.00 € 45.29 €/month (Feb 22/Aug 22)

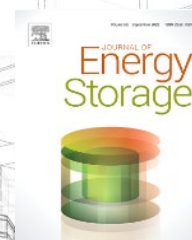
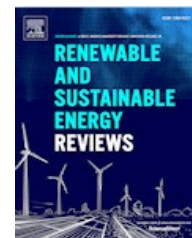
^a Coefficient of transition from final energy to primary energy (RITE: Coefficients of transition to primary energy of different sources of final energy consumed in the building sector in Spain) [16] → 2,403 kWh E_{primary} / kWh E_{useful}

^b Emission factor of CO₂ (RITE: Emission factor of different sources of final energy consumed in the building sector in Spain) [16] → 0,357 kg CO₂ / kWh E_{useful}



Scientific publications:

- Maestre V.M., Ortiz A., Ortiz I. **“Challenges and prospects of renewable hydrogen-based strategies for full decarbonization of stationary power applications”**. Renew Sustain Energy Rev 2021;152:111628.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111628>. IF =16.799, Q1 & D1 in **“Energy and fuels”** category
- Maestre V.M., Ortiz A., Ortiz I. **“The role of hydrogen-based power systems in the energy transition of the residential sector.”** J Chem Technol Biotechnol 2021. <https://doi.org/10.1002/JCTB.6938>. IF=3.709, Q2
- Maestre V.M., Ortiz A., Ortiz I. **“Transition to a low-carbon building stock. Techno-economic and spatial optimization of renewables-hydrogen strategies in Spain”** Journal of Energy Storage 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105889>. IF=8.907, Q1



Thanks for your attention!

www.sudoe-energyypush.eu



European Regional Development Fund

