



HyWays

# 3er Encuentro Sectorial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible

13-15 de noviembre de 2007  
Santiago de Compostela

*Esther Chacón Campollo*

*chaconce@inta.es*

*Área de Energías Renovables*

**INTA**



HyWays

# HyWays

“Hoja de Ruta” Europea de la Energía  
del Hidrógeno



- 1. Introducción
  - Objetivos
  - Escenario base
- 2. Resultados para España:
  - 2.1 Perfil español
  - 2.2 Cadenas energéticas para el H<sub>2</sub>
  - 2.3 Análisis de infraestructura
  - 2.4 Resultados socioeconómicos
- 3. Hoja de ruta para España



## Hoja de Ruta del Hidrógeno ¿Por qué?

- La implantación de tecnologías avanzadas implica **cambios** que deben ser introducidos de manera paulatina, siguiendo una planificación cuidadosa.
- Una “**hoja de ruta**” es un documento que describe los pasos necesarios para conseguir un fin, en este caso, la implantación de la tecnología del hidrógeno como vector energético. Debe indicar:
  - las ventajas de esta tecnología
  - el tiempo
  - las medidas y el esfuerzo necesario para su implantación





# 1. Introducción

HyWays

## Proyecto HyWays

### End products

- Flyer on main conclusions – approx. 2 pages
- Executive summary – approx. 10 pages
- Roadmap – approx. 40 pages
- Action Plan – approx. 20 pages
- MS synthesis report – approx. 40 pages
  
- PPT presentation
- Various (scientific) back ground reports

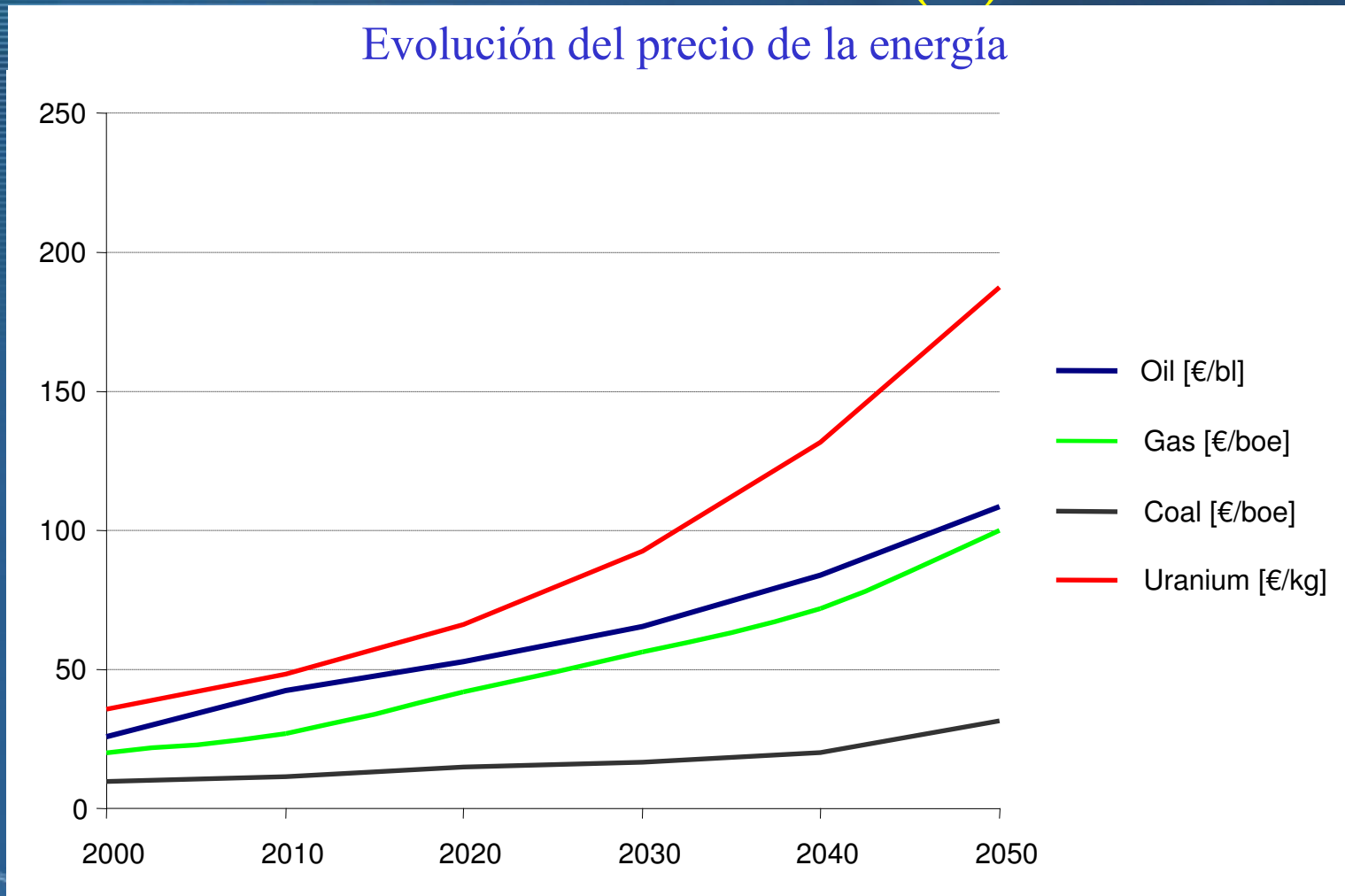


# 1. Introducción

HyWays

## Escenario base (1)

Evolución del precio de la energía





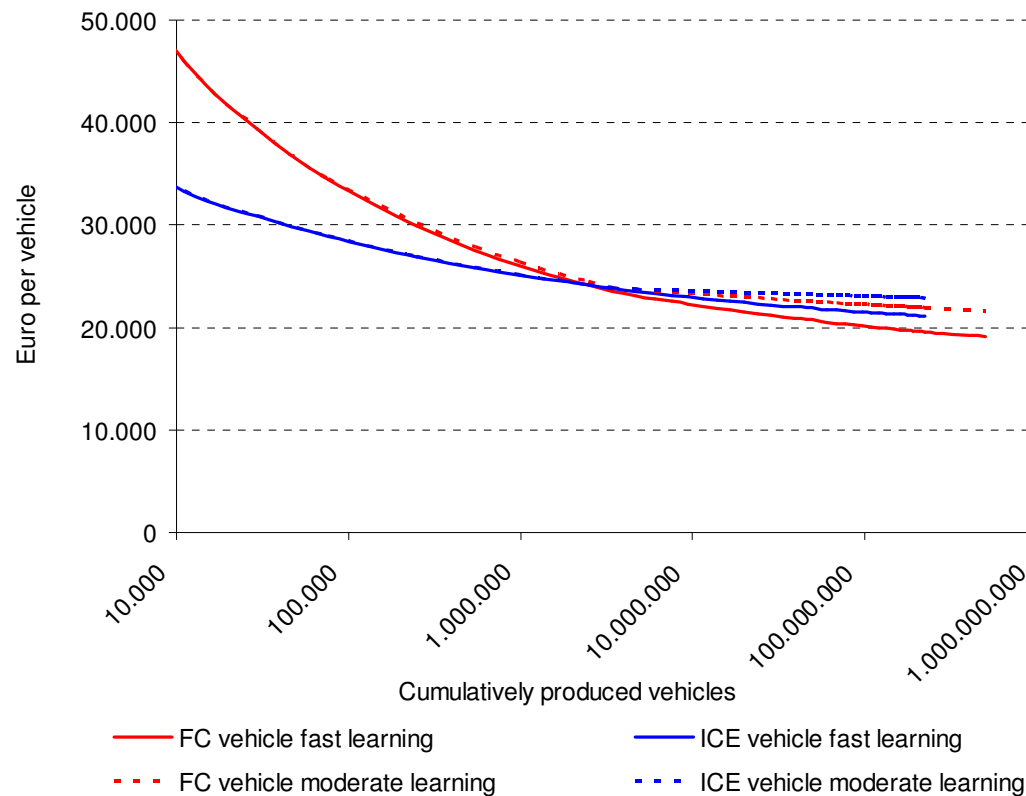
# 1. Introducción

HyWays

## Escenario base (2)

- Escenarios de demanda de H<sub>2</sub> en TRANSPORTE

Evolución de costes aplicados a la tecnología del H<sub>2</sub>:



Los vehículos de FC respecto a ICE:

✓ Al principio son más caros

✓ La curva de reducción es mayor debido a la gran cantidad de componentes eléctricos

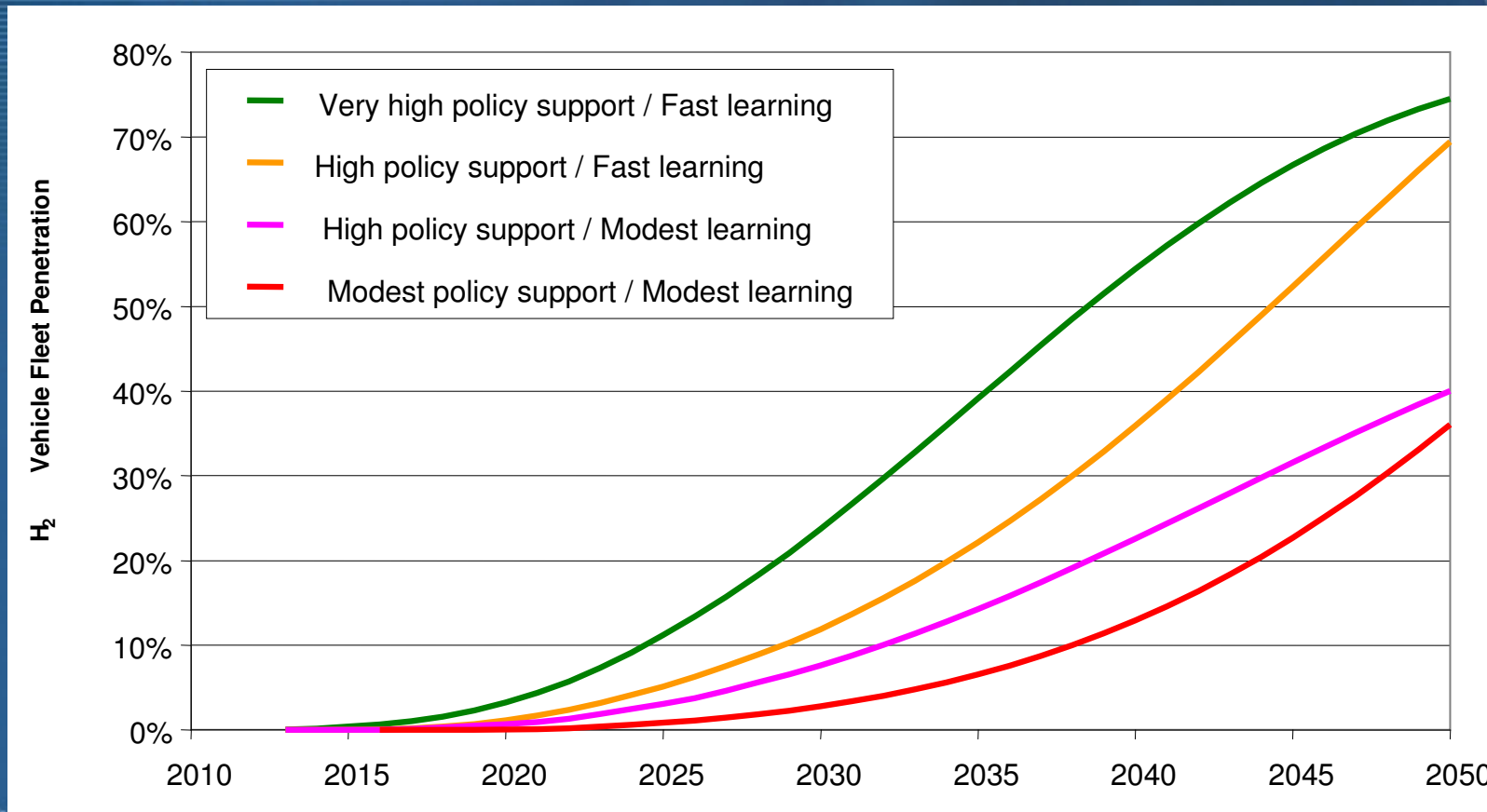


# 1. Introducción

HyWays

## Escenario base (3)

- Escenarios de demanda de H<sub>2</sub> en TRANSPORTE (cont)







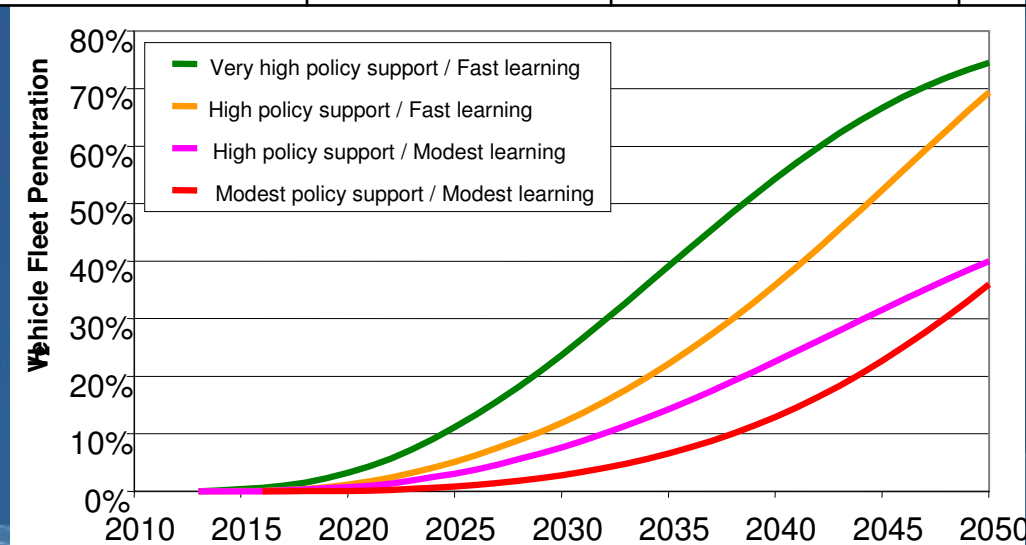
# 1. Introducción

HyWays

## Escenario base (4)

- Escenarios de demanda de H2 en TRANSPORTE (cont)

	High Fast learning	Very high Fast learning	High Modest learning	Modest Modest learning
<b>Tendencias</b>	Ambicioso pero realista	Máximo	Modesta	No deseable
<b>1° Coche “Salón”</b>	2013	2013	2016	2016
<b>100.000 unidades</b>	2020	< 2020	2025	> 2030
<b>Vehículos privados</b>	2020	<2020	>2030	>> 2030





# 1. Introducción

## Escenario base (5)

- Escenarios de demanda de H<sub>2</sub> en A. ESTACIONARIAS
  - NO se incluyen los sistemas de FC con Gas Natural, SÓLO los alimentados directamente con H<sub>2</sub>

### Tasa de Penetración

Total share of households	2010	2020	2030	2040	2050
High penetration	-	1%	4%	8%	10%
Low penetration	-	0.1%	0.5%	2%	5%

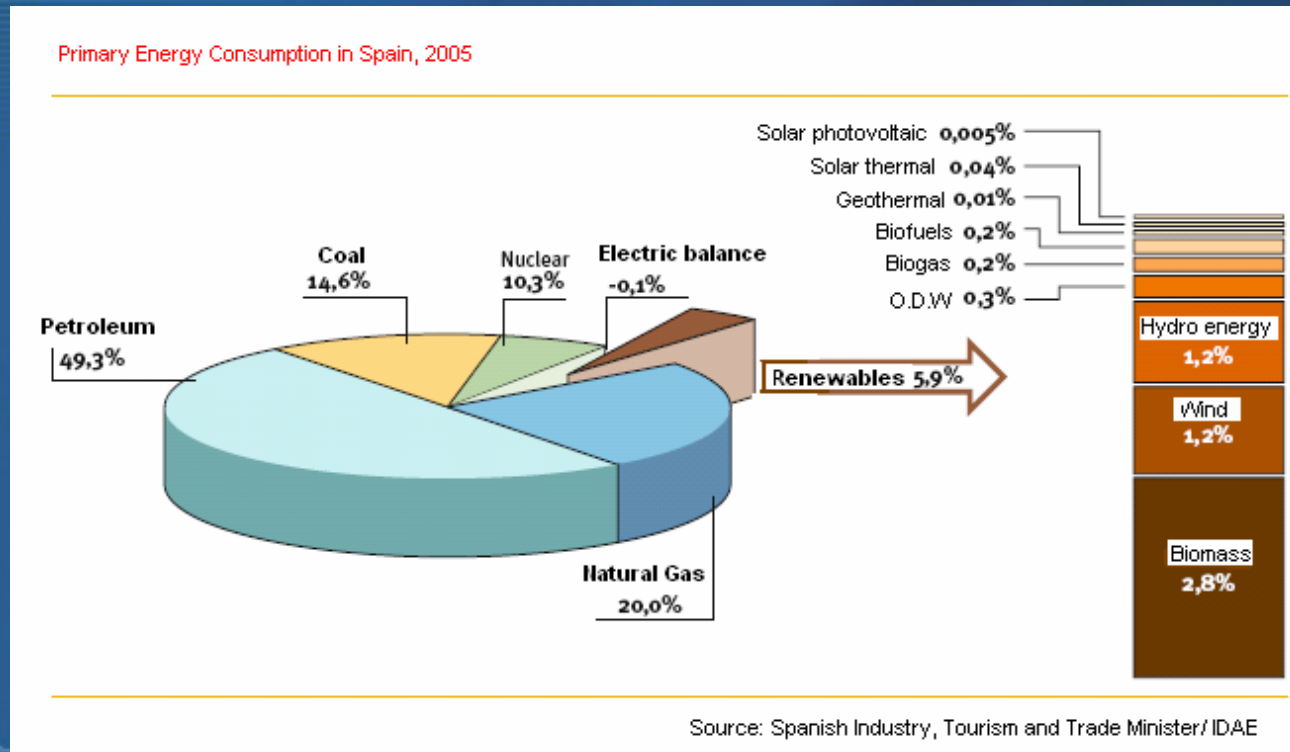
Total share of commercial demand	2010	2020	2030	2040	2050
High penetration	-	0.3%	1.3%	2.7%	3.3%
Low penetration	-	>0%	0.2%	0.7%	1.7%

- **Curva de demanda:** % sistemas estacionarios con H<sub>2</sub> con respecto a los totales (ELE + GN + FF)

## 2.1 Perfil español

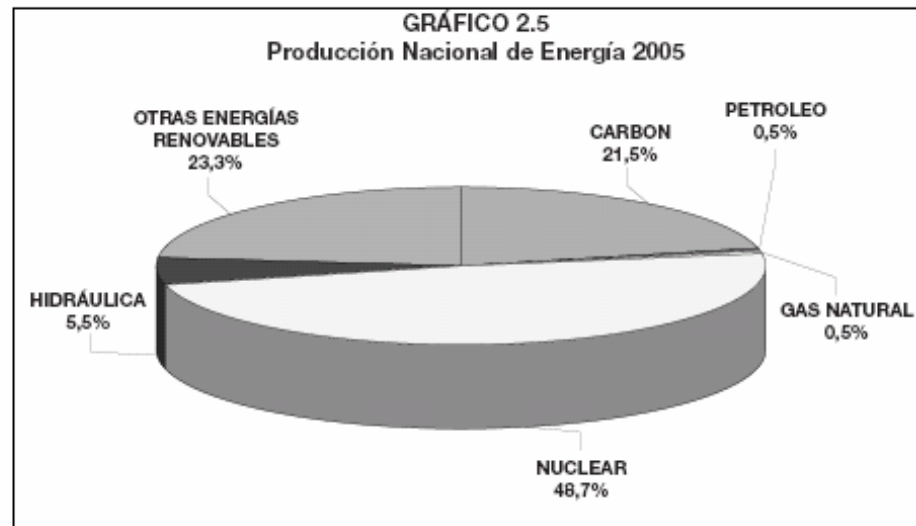
### Actual sistema energético

- España importa casi el 82% de su energía.



### 2.1 Perfil español

#### Grado de autoabastecimiento



**CUADRO 2.3.3.-Grado de autoabastecimiento (1)**

	2004	2005
CARBON	33,1	31,3
PETROLEO	0,4	0,2
GAS NATURAL	1,3	0,5
NUCLEAR	100,0	100,0
HIDRÁULICA	100,0	100,0
ENERGIAS RENOVABLES	100,0	100,0
<b>TOTAL</b>	<b>23,4</b>	<b>21,1</b>

(1): Relación entre producción interior y consumo total de energía.  
Metodología: A.I.E.  
Fuente: SGE

#### Grado de autoabastecimiento (1)

(1): Relación entre producción interior y consumo total de energía.





## 2. Resultados para España

HyWays

### 2.1 MARCO SOCIOECONÓMICO

- La economía española está basada en combustibles fósiles
- Los requerimientos del protocolo de Kioto



ACTIVIDADES DEL  
GOBIERNO ESPAÑOL

- Estrategia de Ahorro y  
Eficiencia Energética 2004-2012

- Plan de EE.RR: 2005-2010

- Plan Nacional de Energía

- Aportaciones de los expertos participantes en las jornadas de trabajo realizadas



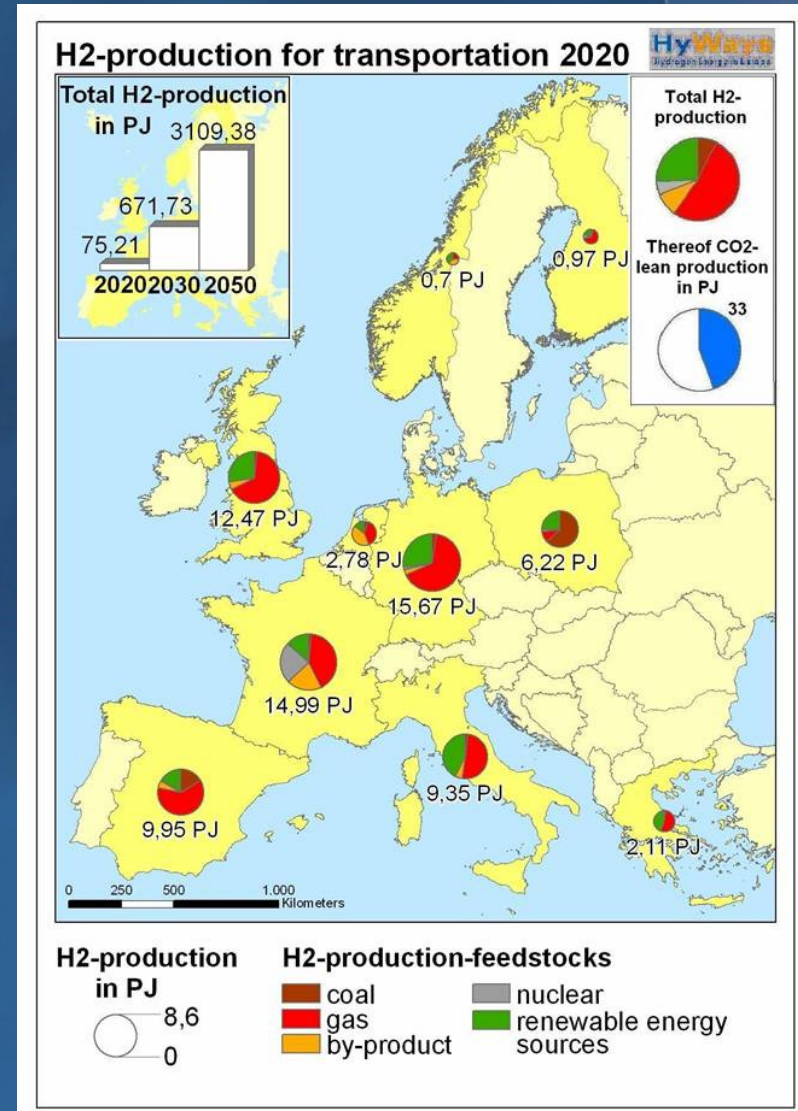


## 2. Resultados para España

HyWays

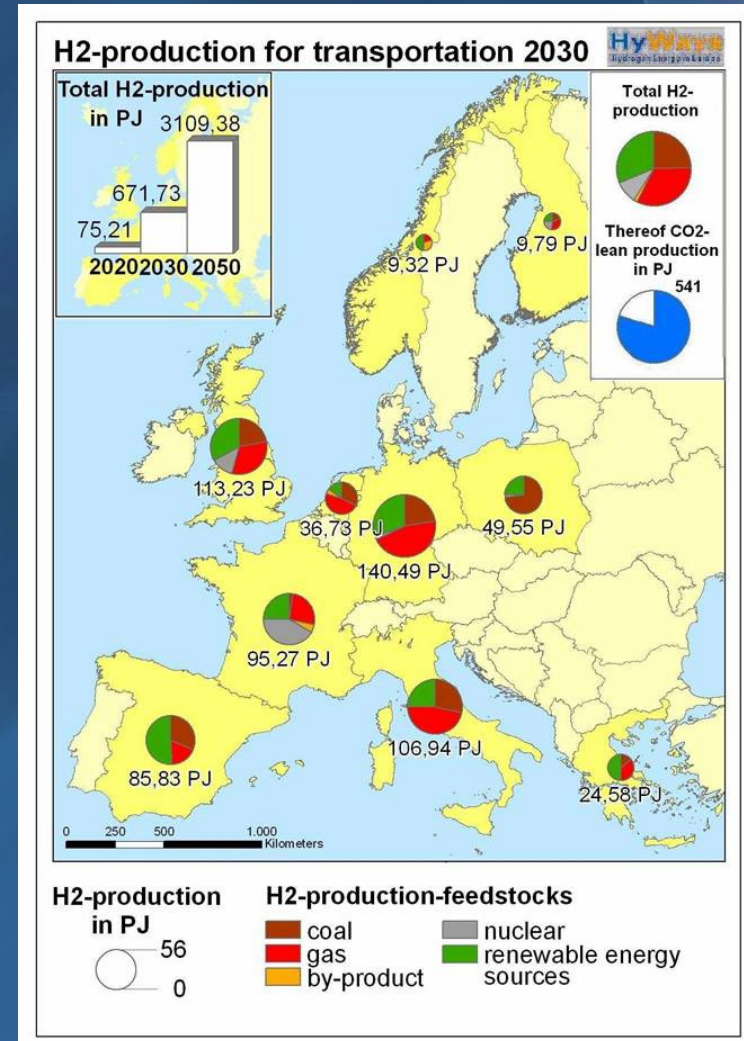
### 2.1 Perfil español

- Primera fase: **hasta 2020**
  - Producción de H<sub>2</sub>: subproducto de procesos químicos, EE.RR y de reformado con vapor del gas natural.
  - Primeros mercados para el uso de H<sub>2</sub>: aplicaciones portátiles, flotas cautivas e instalaciones prototipo para uso estacionario.
  - Transporte de H<sub>2</sub>: camiones
  - Primeros centros de consumo de H<sub>2</sub>: Madrid, Barcelona, Zaragoza, Pamplona y Valencia.



### 2.1 Perfil español

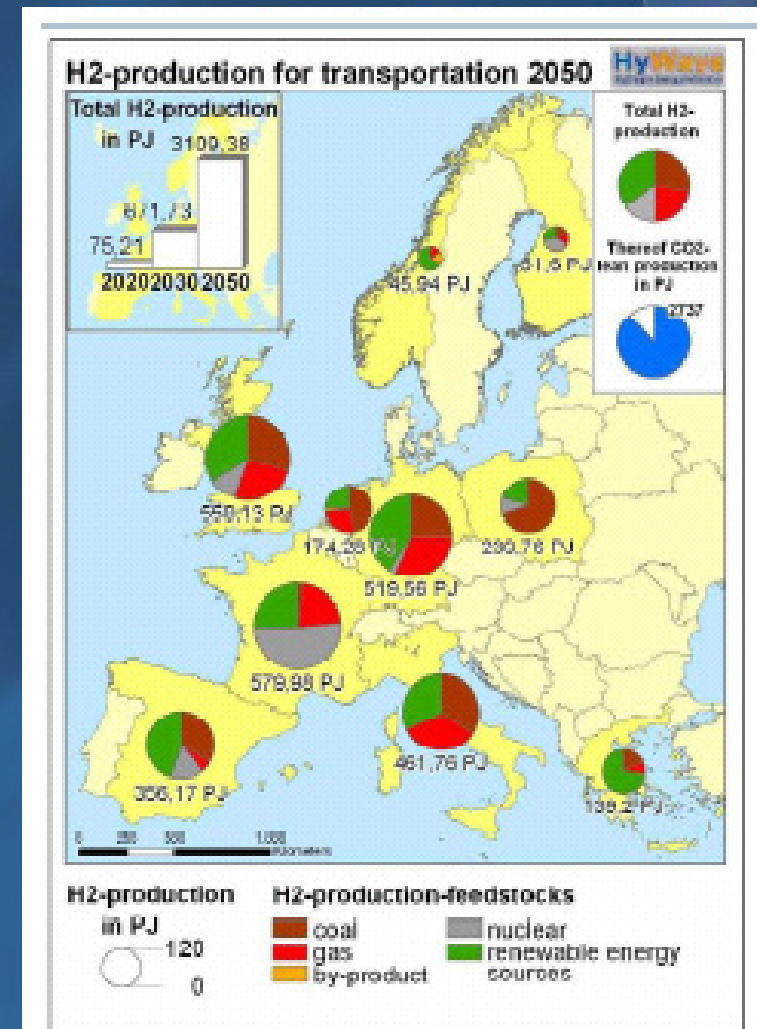
- Segunda fase: 2020-2030
  - Producción de H<sub>2</sub>: por gasificación de carbón y por electrolisis de energía eólica y solar térmica de alta T<sup>a</sup>.
  - Mercados para el uso de H<sub>2</sub>: mezclas de GN y de H<sub>2</sub> en motores de combustión interna.
  - Transporte de H<sub>2</sub>: mezclas de H<sub>2</sub> y GN por tuberías convencionales de GN.
  - Centros de consumo de H<sub>2</sub>: desarrollo económico y demanda del turismo, como las islas Canarias y Baleares.





### 2.1 Perfil español

- Tercera fase: **hasta 2050**
  - Producción de H<sub>2</sub>: por gasificación de carbón, renovables y energía nuclear.
  - Mercados para el uso de H<sub>2</sub>: portátiles, transporte y estacionario.
  - Centros de consumo de H<sub>2</sub>: extendido a todo el país.
  - Transporte de H<sub>2</sub>: red de tuberías, camiones para grandes cantidades y para H<sub>2</sub> líquido.





## 2. Resultados para España

HyWays

### 2.2 Cadenas Energéticas del H<sub>2</sub>

- Basadas en los resultados de los workshops
- 8 cadenas principales,
  - subdivididas en un total de 27 cadenas:
    - 24 para aplicaciones móviles (Filling Stations)
    - 3 para aplicaciones estacionarias (Domestic Use)
- Se limita la producción de H<sub>2</sub> para cada proceso y periodo de tiempo considerado
- Se calcula con el E3database:
  - Rendimiento energético
  - Las emisiones de GHG
  - El coste de cada proceso



## 2. Resultados para España

HyWays

### 2.2 Cadenas Energéticas del H<sub>2</sub>

N <sup>o</sup>	Feedstock	Production Process	Transport	C-CO <sub>2</sub>	Gas / Liquid	Application	<2020	2020, 2030	>2050					
1	Biomass	Central Gasification	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Car FS		5-15%	1-15%					
2	NG	Central SMR	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Car FS								
	NG (ship)			Yes										
	NG		CGH <sub>2</sub> truck											
	NG (ship)			No										
	NG									LH <sub>2</sub> truck				
	NG (ship)			No										
	NG	On Site SMR	GH <sub>2</sub> pipeline		No					Gas				
	NG (ship)													
	3	Coal	Gasification	GH <sub>2</sub> pipeline	No					Domestic	Car FS	<20%		
				CGH <sub>2</sub> truck	No						Domestic			
GH <sub>2</sub> pipeline				Yes	Car FS									
					Car FS									
Domestic														





## 2. Resultados para España

HyWays

### 2.2 Cadenas Energéticas del H<sub>2</sub>

Nº	Feedstock	Production Process	Transport	C-CO <sub>2</sub>	Gas / Liquid	Application	<2020	2020, 2030	>2050
4	On shore Wind Power	On Site Electrolysis	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Domestic	10%	>25%	20%
		Central Electrolysis	GH <sub>2</sub> pipeline			Car FS			
	Off-shore Wind Power	Central Electrolysis	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Car FS			
			CGH <sub>2</sub> truck			Car FS			
5	Solar	Thermal conversion	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Car FS		>5%	>10%
			CGH <sub>2</sub> truck						
6	Mix Electricity	On Site Electrolysis	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Car FS			
7	By-product		CGH <sub>2</sub> truck	No	Gas	Car FS			
8	HT Nuclear Heat	HT Electrolysis	GH <sub>2</sub> pipeline	No	Gas	Car FS	0%	0%	>10%

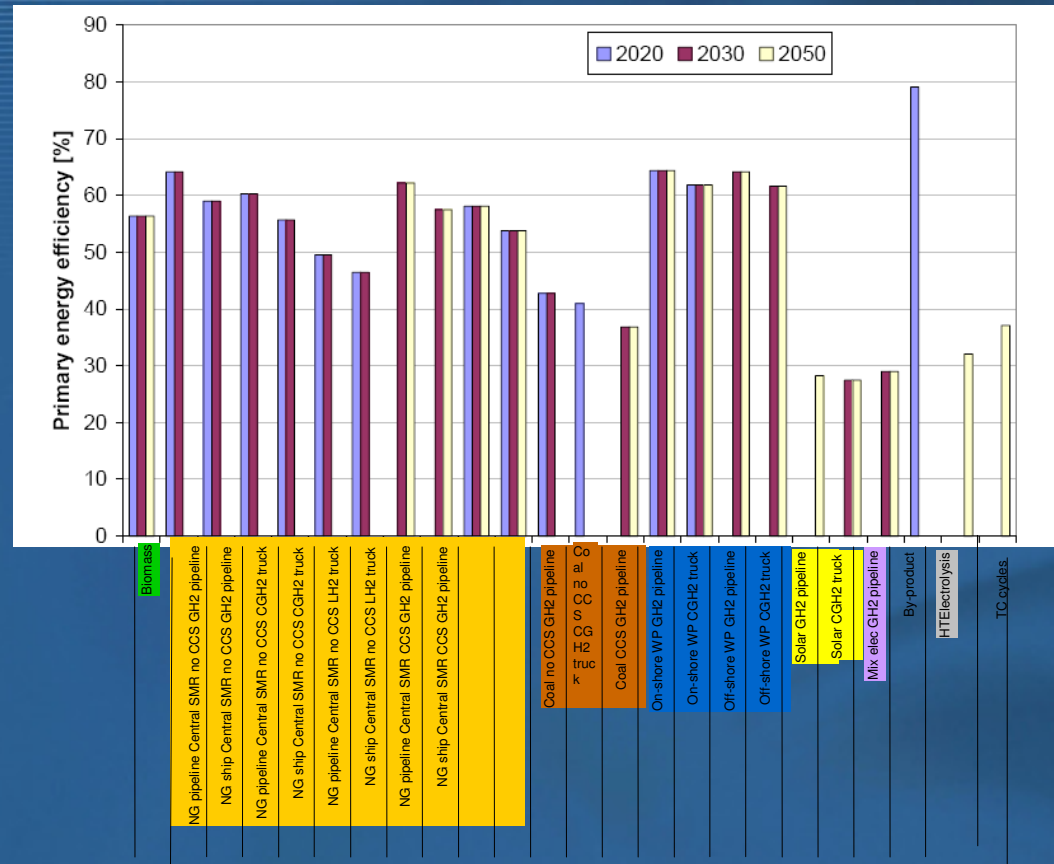


## 2. Resultados para España

HyWays

### 2.2 Cadenas Energéticas del H<sub>2</sub>

- Rendimiento de cada cadena



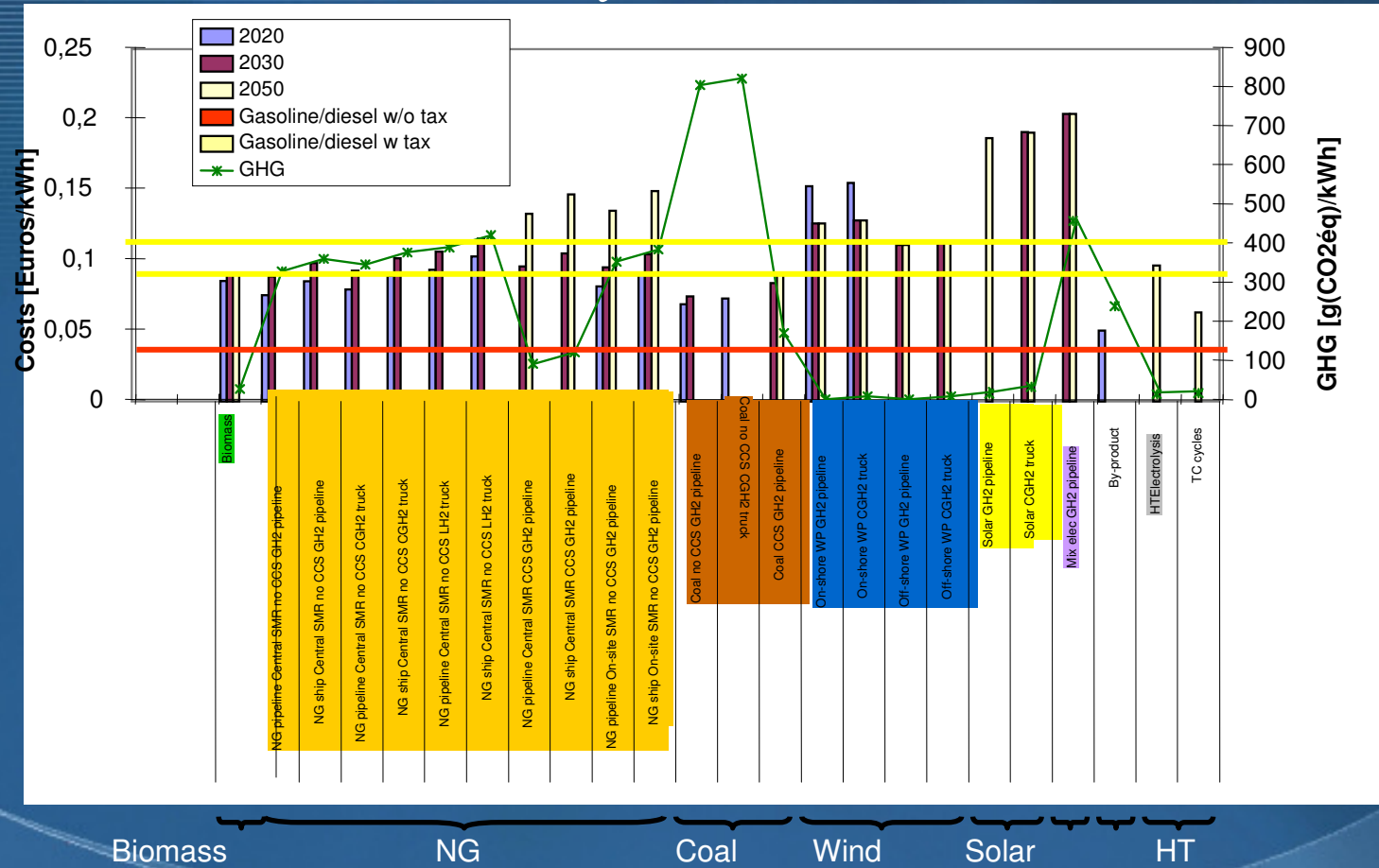


## 2. Resultados para España

HyWays

### 2.2 Cadenas Energéticas del H<sub>2</sub>

- Emisiones de GHG y coste de cada cadena





## 2.3. Infraestructura

HyWays

El despliegue de la infraestructura se divide en 3 fases:

Escenario	Periodo	Porcentaje de población con acceso al H2 (%)
Concentrado	T2	25
	T3	30
	T4	85
Distribuido	T2	50
	T3	90
	T4	100
T4	16,000,000	

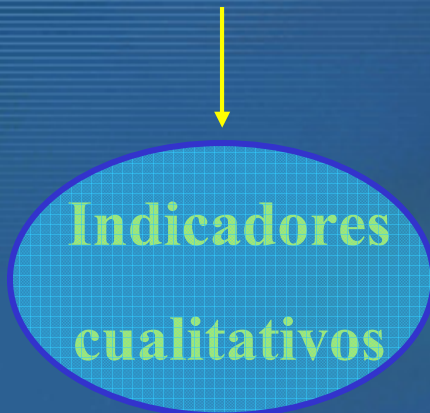




## 2.3 Infraestructura

HyWays

- T1: 2-5 primeros centros de usuarios por país.



- ✓ polución, nº de vehículos por familia
- ✓ tamaño de los coches, disponibilidad de expertos y proyectos de demostración,
- ✓ compromiso político, afluencia de turismo extranjero con tecnología de H<sub>2</sub>

- T2, T3, T4: Sucesivos centros de usuarios

**Indicadores socio-económicos:** poder adquisitivo, coches por persona, población, PIB,...

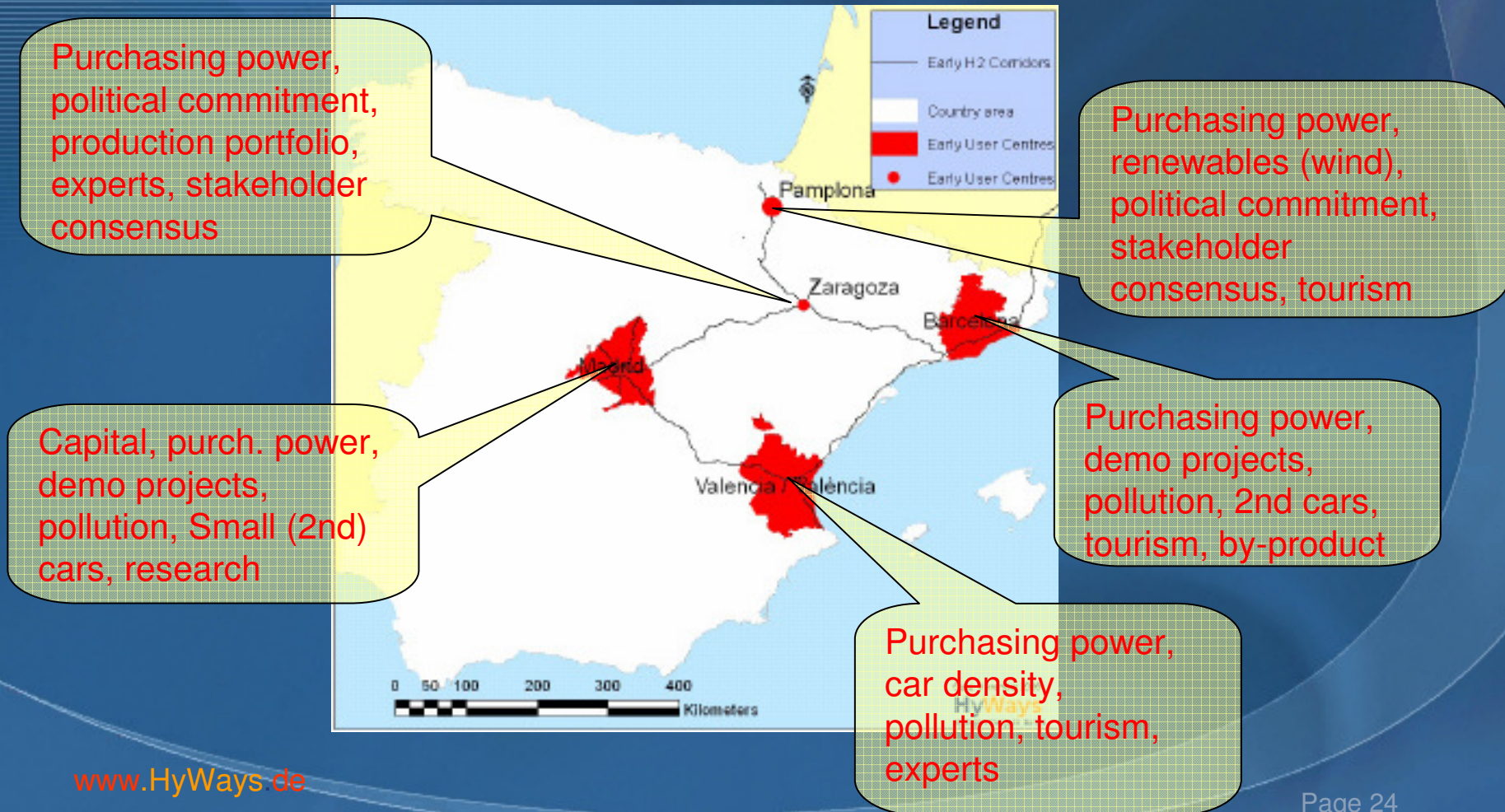




## 2.3 Infraestructura

# HyWays

T1: 2-5 primeros centros de usuarios por país.





## 2.3 Infraestructura

HyWays

### T1: Red de estaciones de servicio de H<sub>2</sub>:

- **Tres tamaños:** pequeñas, medianas y grandes, con 80, 320 y 800 servicios de repostaje por día respectivamente, suponiendo 4 kg H<sub>2</sub>/repostaje.
- En las grandes vías de transporte: una cada **100 km.**
- **25000 km.** de “primeros corredores” para conectar los primeros centros europeos en T2.







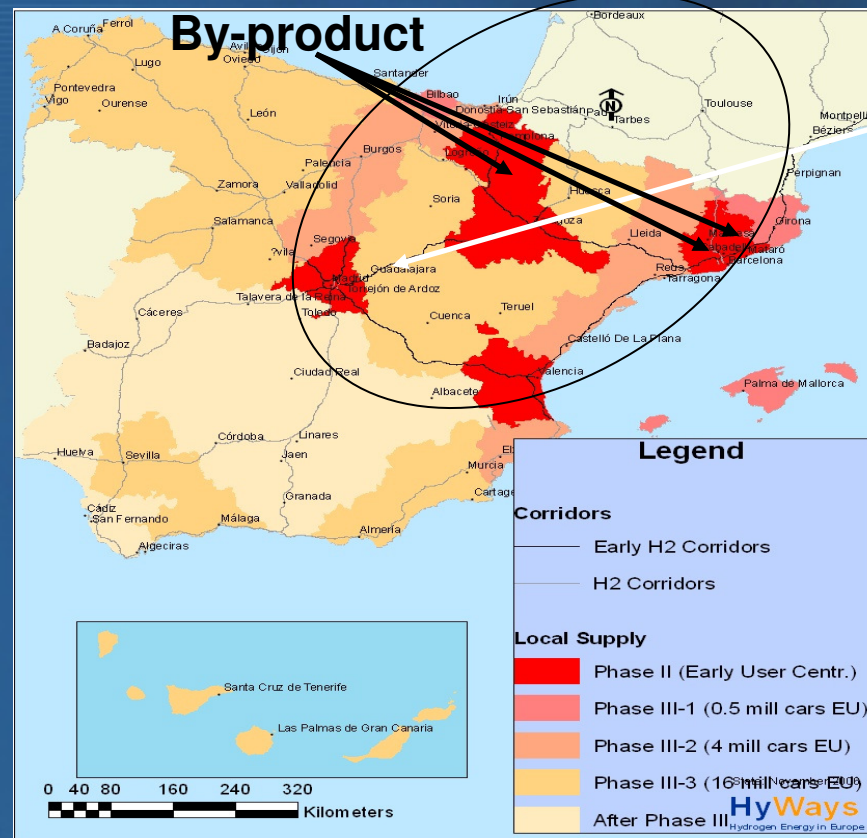
# 2.3 Infraestructura

# HyWays

## T1: Distribución regional de la producción de H<sub>2</sub> en la primera etapa

Mix in 2014:

Demand H<sub>2</sub> ~7 GWh



Pequeña central SMR (15 MW) y licuefacción

Escenario concentrado de usuarios 20% H<sub>2</sub> líquido, MS-límites





# 2.3 Infraestructura

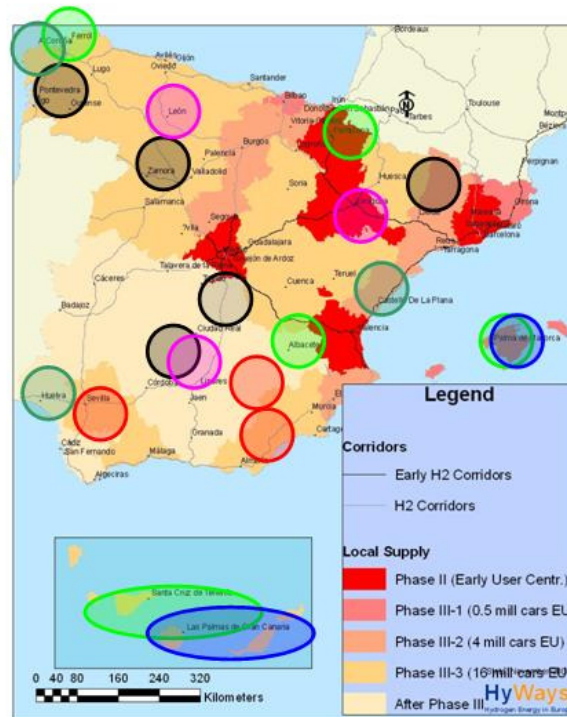
# HyWays

## T2: Distribución regional de la producción de H<sub>2</sub> en la etapa intermedia

Regional production Concentrated Users Early Network Scenario, 20% liquid, MS-bounds

Mix in 2027:

Demand H<sub>2</sub> ~15.000 GWh



Large scale coal gasification (844 MW)

Wind off shore

Wind on shore

On-site Naphta and LPG Reformer

High temperature solar thermal

Biomass gasification (50 MW, 1 plant)

### T2: Centros de usuarios de H<sub>2</sub> y carreteras de unión en la etapa intermedia



-500 hidrogeneras en las 1<sup>as</sup> vías de transporte

-1 hidrogenera cada 80 Km

-25000 km. de primeros corredores

-1<sup>os</sup> centros de usuarios T1 400 estaciones de servicio para los 10 países

-17000 para escenarios concentrados y 25000 en los distribuidos para T4



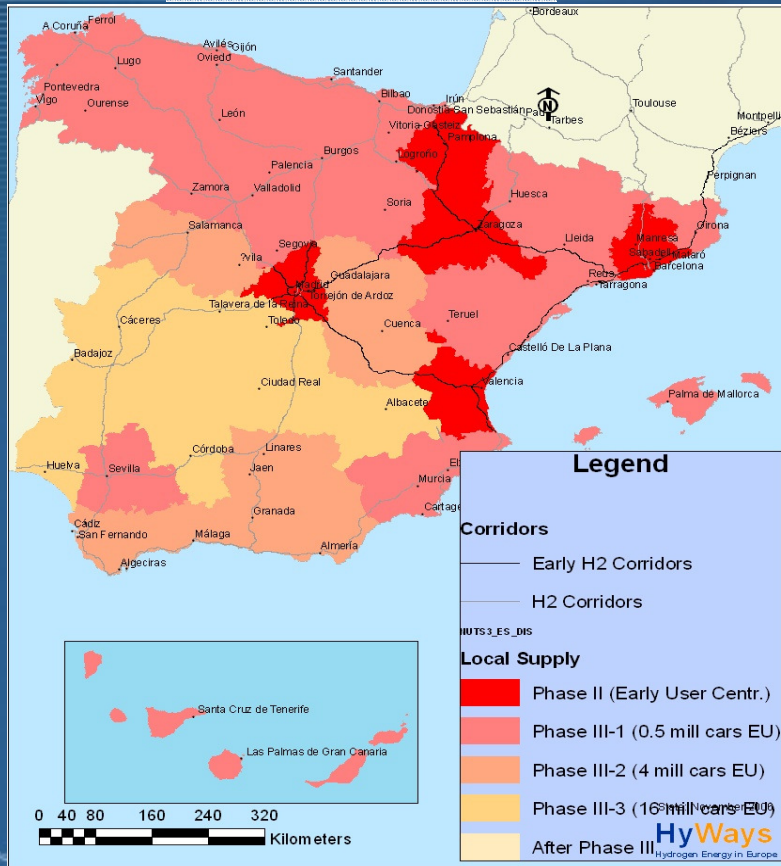


# 2.3 Infraestructura

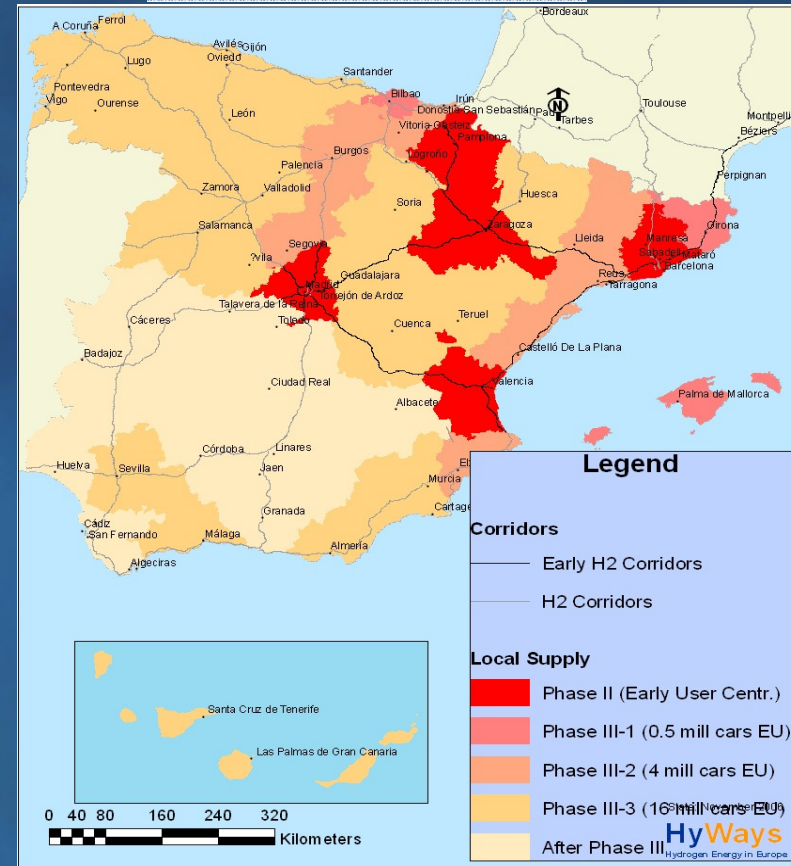
# HyWays

## Dónde y cuándo se utilizará el hidrógeno

### Distributed users



### Concentrated users





# 2.3 Infraestructura

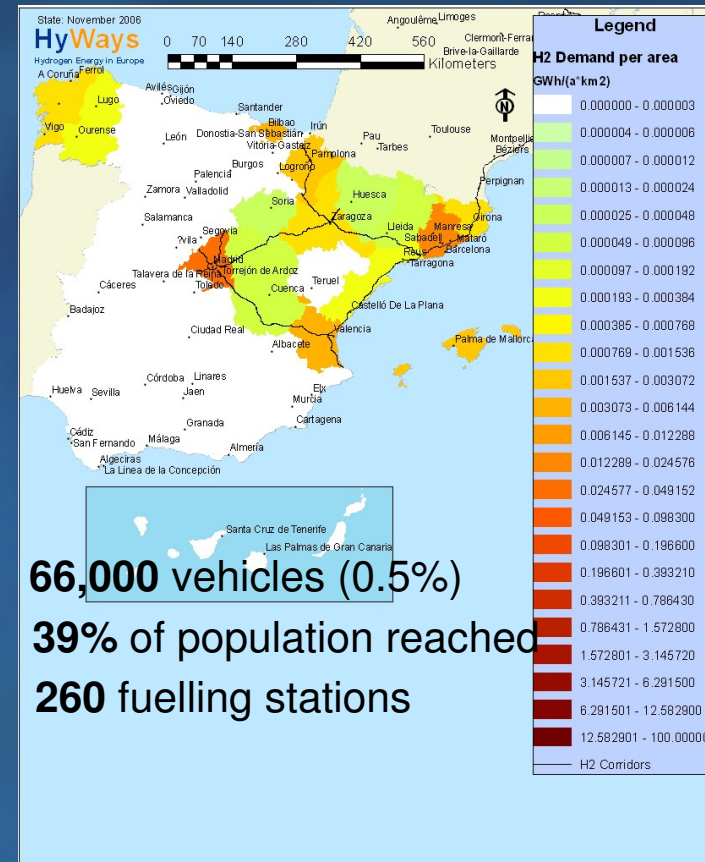
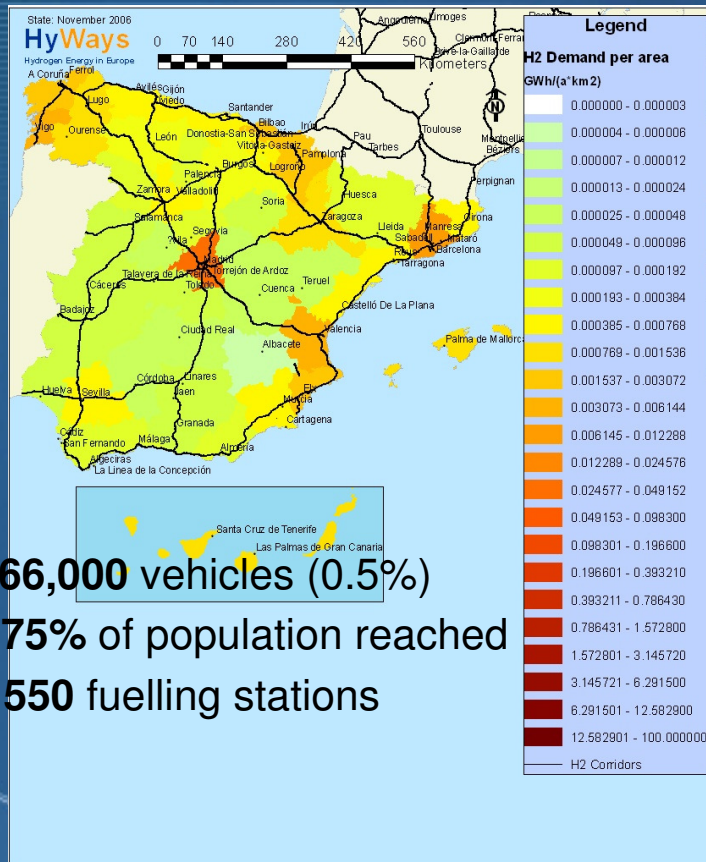
# HyWays

## Fase III- T2 (500,000 cars EU-wide)

### “Intensidad de hidrógeno consumida [GWh/(a km<sup>2</sup>)]”

High penetration - Distributed users - Early network

Low penetration - Concentrated users – Late network







# 2.3 Infraestructura

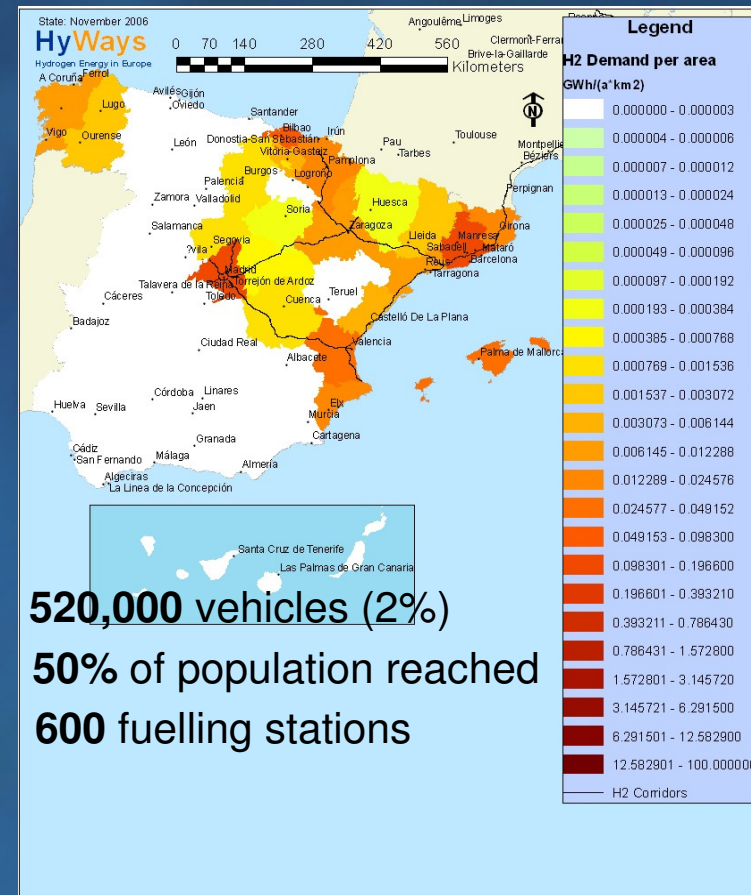
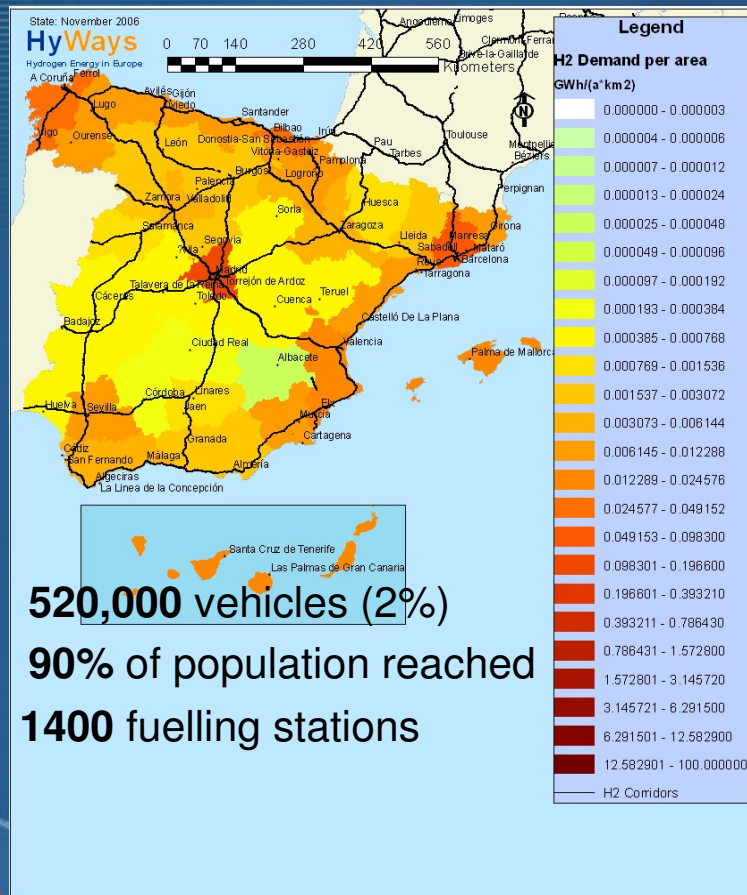
# HyWays

## Fase III-T3 (4 mill. cars EU-wide)

*“Intensidad de hidrógeno consumida [GWh/(a km<sup>2</sup>)]“*

High penetration - Distributed users - Early network

Low penetration - Concentrated users – Late network





# 2.3 Infraestructura

HyWays

## Mix de producción y coste medio del H2 en la hidrogenera para 2030

Country	Hydrogen demand in T4 (GWh)	Relevant feedstocks in T4 (later phase), roughly in order of declining importance	Hydrogen costs in T4 (€-ct/kWh), range of scenarios
Finland	1.7	Natural gas (NG), biomass, hard coal, wind, grid electricity, nuclear	10-11
France	25.8	Nuclear, grid electricity, wind power, NG, biomass (electricity dominated)	9-11
Germany	26.1	Hard coal, biomass, wind, by-product, NG, grid electricity	8-11
Greece	4.6	Wind, biomass, lignite, NG (strong focus on domestic energy sources)	9-16*
Italy	17.8	Wind, biomass, NG, coal, waste, solar	10-14*
Netherlands	6.2	NG, hard coal, biomass, by-product (focus on central production)	10-13
Norway	1.6	Wind, biomass, by-product, grid electricity, NG (no existing NG grid)	11-12
Poland	9.6	Biomass, hard coal, lignite, NG, wind (in-situ coal gasification considered)	8-13
Spain	14.9	Wind, biomass, solar, hard coal, NG (high renewable share)	12-16*
UK	21.1	NG, coal, wind, nuclear, waste	10-13

OFFSHORE  
ONSHORE  
SS CENTRAL  
ROLYSIS ONSITE  
NSITE  
ENTRAL (CCS)  
ENTRAL  
COAL (CCS)  
COAL  
E (CCS)  
E

USER CENTRES

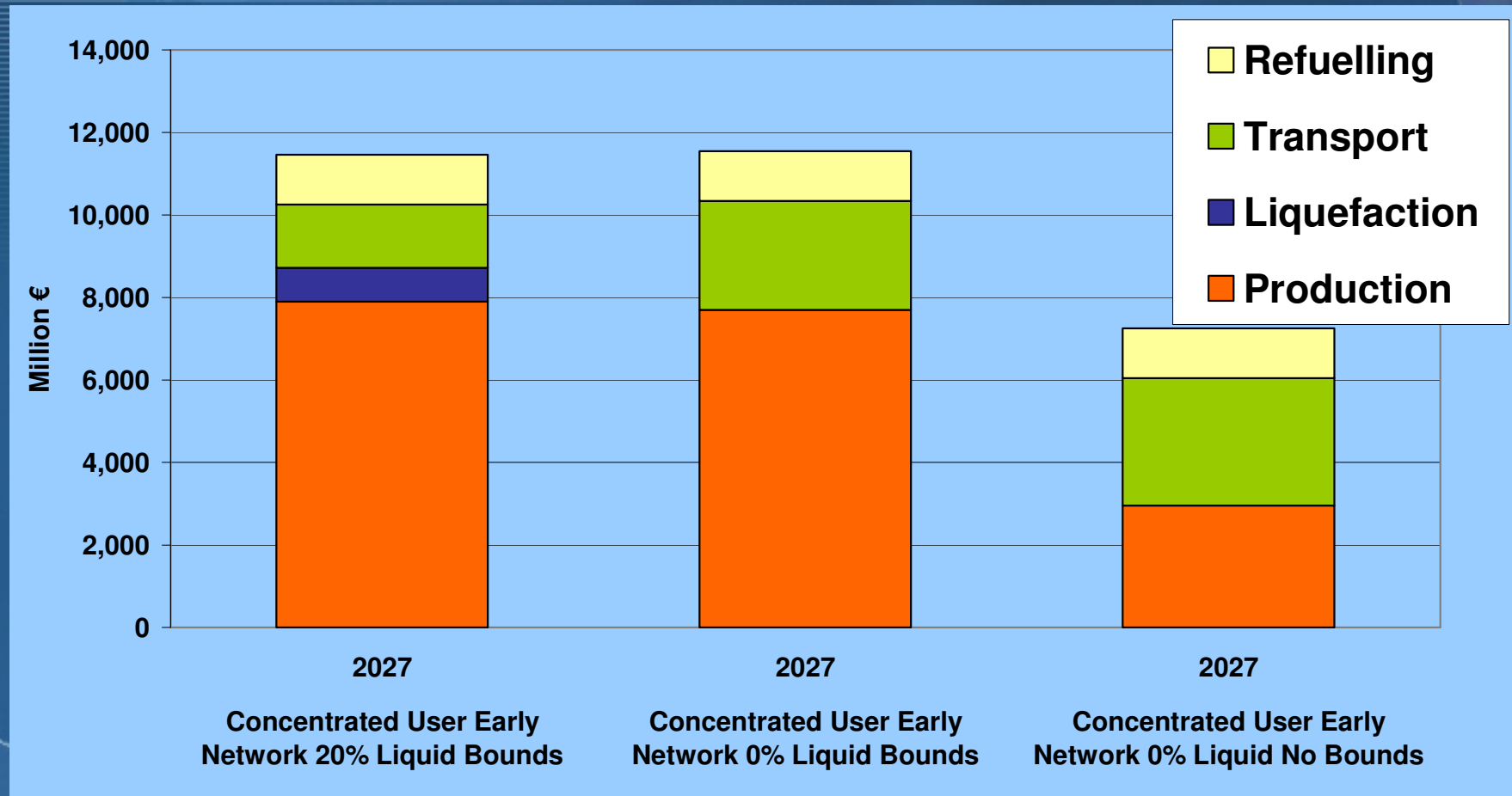
\* The high maximum prices mainly result from scenarios with a high share of renewables (particularly wind)



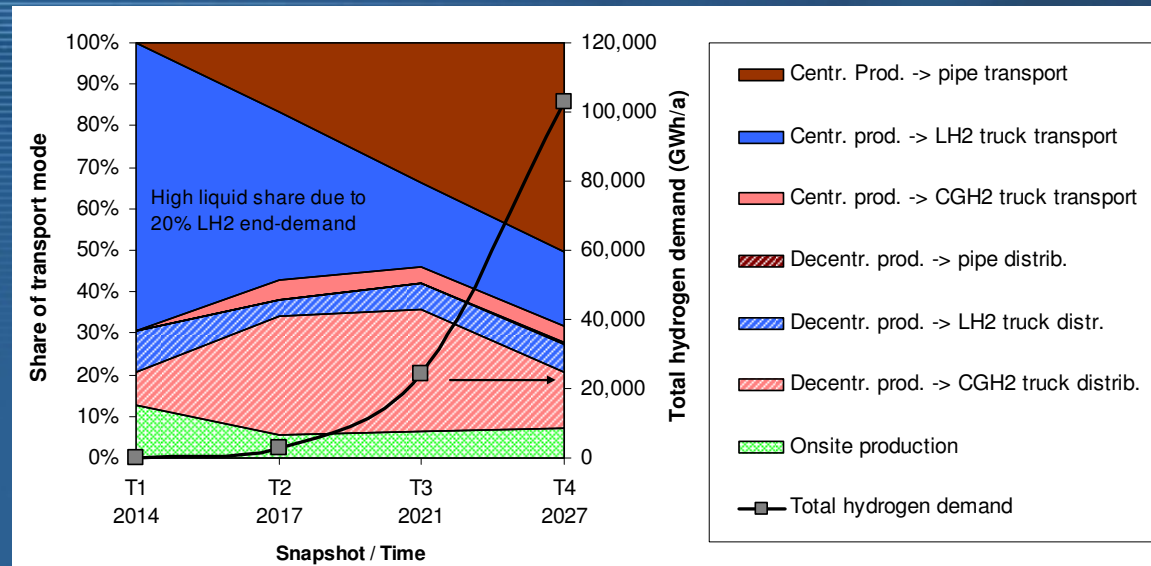
## 2.3 Infraestructura

HyWays

### Inversión acumulada en infraestructuras en España



## Conclusiones



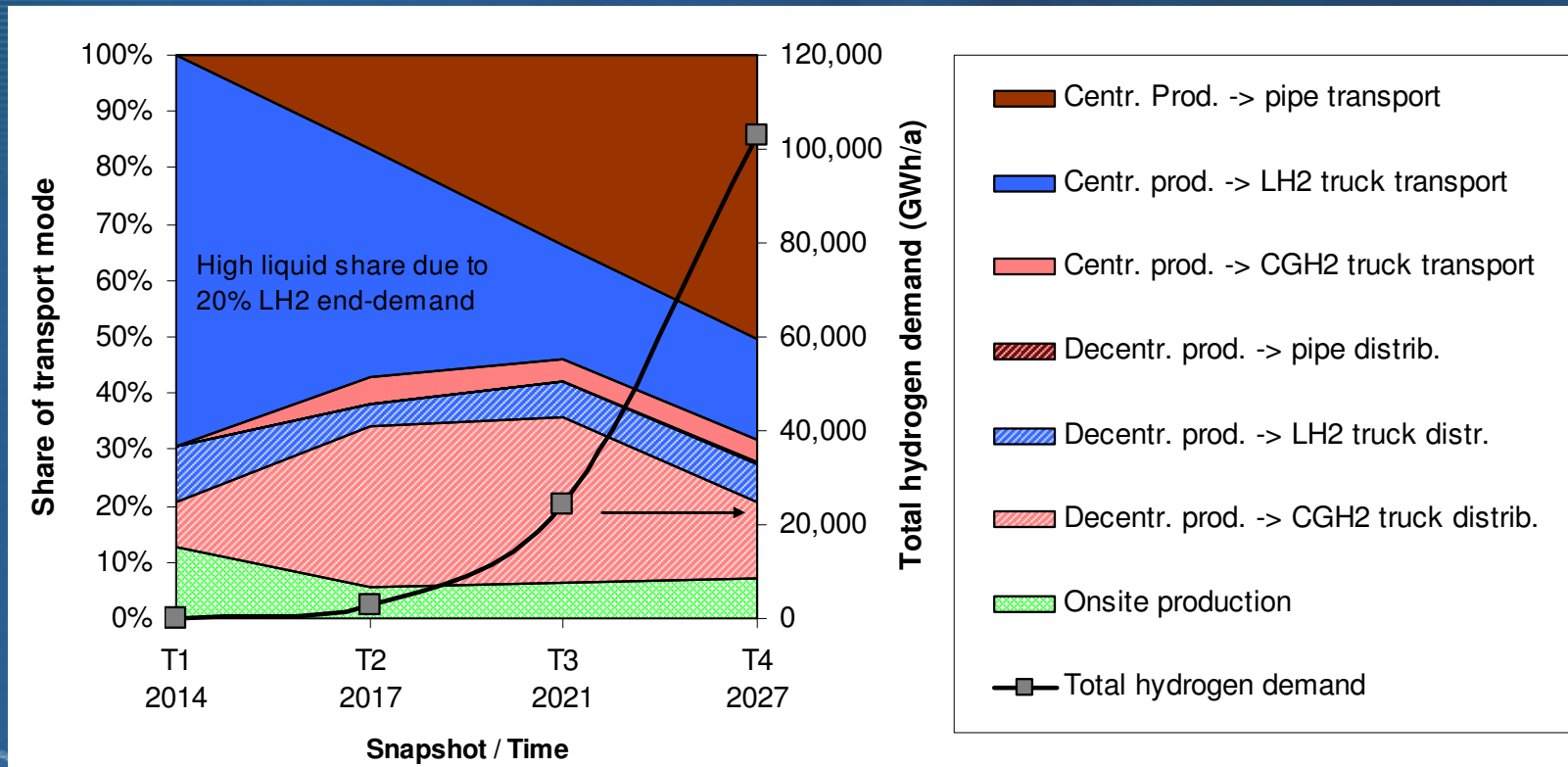
- Producción on-site: áreas con demanda esparcida. Bajo porcentaje.
- Camiones de LH<sub>2</sub>: mayores distancias. Dominante en las 1<sup>as</sup> fases.
- Camiones de CGH<sub>2</sub>: áreas con densidad intermedia, transición hacia tubería.
- Tuberías de H<sub>2</sub>: desde plantas centralizadas a grandes ES. Fases tardías.
- Distribución combinada CGH<sub>2</sub> y LH<sub>2</sub>: fases tardías.





# 2.3 Infraestructura

## Conclusiones del Análisis de Infraestructura para España





## 2.3 Infraestructura

HyWays

### Conclusiones del Análisis de Infraestructura para España

- En un primer periodo, la producción de H<sub>2</sub> será baja y a partir de onsite-SMR.
- Para los periodos posteriores, pequeñas centrales on-site SMR (15 MW) y de gasificación de biomasa (50 MW).
- Después de 2025, debido al precio del gas natural, las opciones preferidas para H<sub>2</sub> fósil serán grandes centrales de gasificación de lignito, carbón y biomasa.
- Con el escenario de mínimos de producción fijados para el H<sub>2</sub> a partir de EE.RR los costes del H<sub>2</sub> aumentarán un 25%.



## 2.4 Análisis socioeconómico **HyWays**

### Análisis del impacto económico

- Podrían crearse alrededor de 20.000 nuevos puestos de trabajo para 2030.
- A largo plazo el coste del H2 en España será de los más baratos entre todos los estados miembros.
- A partir de 2030 precios competitivos de vehículos pequeños y grandes.
- En fase de alta comercialización: los costes del H2 en las estaciones de servicio no serán una barrera si el precio del petróleo  $> 50$  \$/b.





## 2.4 Análisis socioeconómico HyWays

### Oportunidades para la economía española

- La industria de pilas puede contribuir al desarrollo del sector de exportaciones.
- El hidrógeno como medio de almacenamiento podría suponer una mejora en la utilización de los recursos renovables y nuevas oportunidades de negocio.
- La experiencia en proyectos de demostración europeos pueden utilizarse en España como oportunidades para la adopción temprana de aplicaciones estacionarias y móviles.
- Dilema: tomar partido de inversiones arriesgadas en nueva tecnología con oportunidades en el mercado para mantenerse en el sector o no hacerlo debido a la incertidumbre en el éxito de la nueva tecnología





## 2.4 Análisis socioeconómico HyWays

### Impacto del hidrógeno en las emisiones

- El uso de H<sub>2</sub> producido por fuentes libres de CO<sub>2</sub> supone un alto beneficio en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector transporte.
- La reducción de polución ambiental se distribuye uniformemente en todos los dominios, con un impacto mayor en los centros urbanos (reducción de enfermedades).
- La reducción de emisiones es limitada debido a que algunas categorías de vehículos, como los camiones, no se han considerado.



## 2.4 Análisis socioeconómico HyWays

### Impacto del hidrógeno en la seguridad de suministro

- El hidrógeno asegura una mayor diversificación del sistema energético.
- Para el transporte, el hidrógeno puede jugar un papel similar al de la electricidad para aplicaciones estacionarias, pudiendo desacoplar la demanda final de energía del suministro inicial de energía primaria.
- El hidrógeno ayuda a reducir la dependencia de importaciones conflictivas.



# Conclusiones generales del HyWays para Europa (1)

- El Hidrógeno será **competitivo** como **combustible** para el transporte, consiguiendo beneficios económicos.
- La introducción del H<sub>2</sub> en el sistema energético tiene un efecto positivo en la **reducción de CO<sub>2</sub>** y favorece el aumento de utilización de EERR.
- El H<sub>2</sub> **no** será competitivo en aplicaciones **estacionarias**, excepto para áreas remotas, islas o nichos, debido a la infraestructura existente de gas natural.
- El H<sub>2</sub> puede mitigar el problema de la “**seguridad de suministro**” de combustibles
- El H<sub>2</sub> contribuye a la **estabilidad económica**





# Conclusiones generales del HyWays para Europa (2)

- La introducción del H<sub>2</sub> tiene que ser **promovida** para superar las barreras iniciales (Costes / infraestructura / normativa / educación)
- Se requiere soporte político sustancial y efectivo:
  - Esquemas económicos y financiación del investigación y desarrollo tecnológico
  - Preparación de mercados
  - Fomento en desarrollo de infraestructuras y aplicaciones
  - Monitorización y seguimiento de los progresos en reducción de costes y mejoras de actuaciones



## 3. Hoja de Ruta de España **HyWays**

- Objetivos del proyecto aplicado a España:
  - Desarrollar un mapa de la evolución de la economía del H2 en España desde la actualidad hasta los horizontes seleccionados (2010/2020/2030)
  - Validar las suposiciones hechas para Europa
  - Validar los escenarios propuestos por España en el proyecto.
  - Visionar una estrategia propia.
  - Identificar las barreras para alcanzar el nivel europeo
  - Identificar las necesidades o medios que es necesario impulsar.



## Referencias

1. La Energía en España 2005 .Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.  
<http://www.mityc.es/Balances/Publicaciones/Publicacionesbalnaces>
2. HyWays – *Hydrogen Energy in Europe*, Integrated Project under the 6th Framework Programme of the European Commission, 2004-2007,  
<http://www.hyways.de>
3. Tzimas, E., Castello, P., Peteves, S., *The evolution of size and cost of a hydrogen delivery infrastructure in Europe in the medium and long term*, International Journal of Hydrogen Energy, in press, available online 28 November 2006.
4. European Commission, Directorate-General for Research, Directorate Energy, *World Energy Technology Outlook – WETO H2*, ISBN 92-79-01636-9, January 2007.
5. EUCAR, CONCAWE and JRC, *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*, 2nd edition, May 2006,  
<http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.htm>
6. International Energy Agency, *World Energy Outlook 2006*, Paris, 2006.
7. Yang, C., Ogden, J., *Determining the lowest-cost hydrogen delivery mode*, International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 268 – 286