



Institut de Robòtica
i Informàtica Industrial



Les piles de combustible

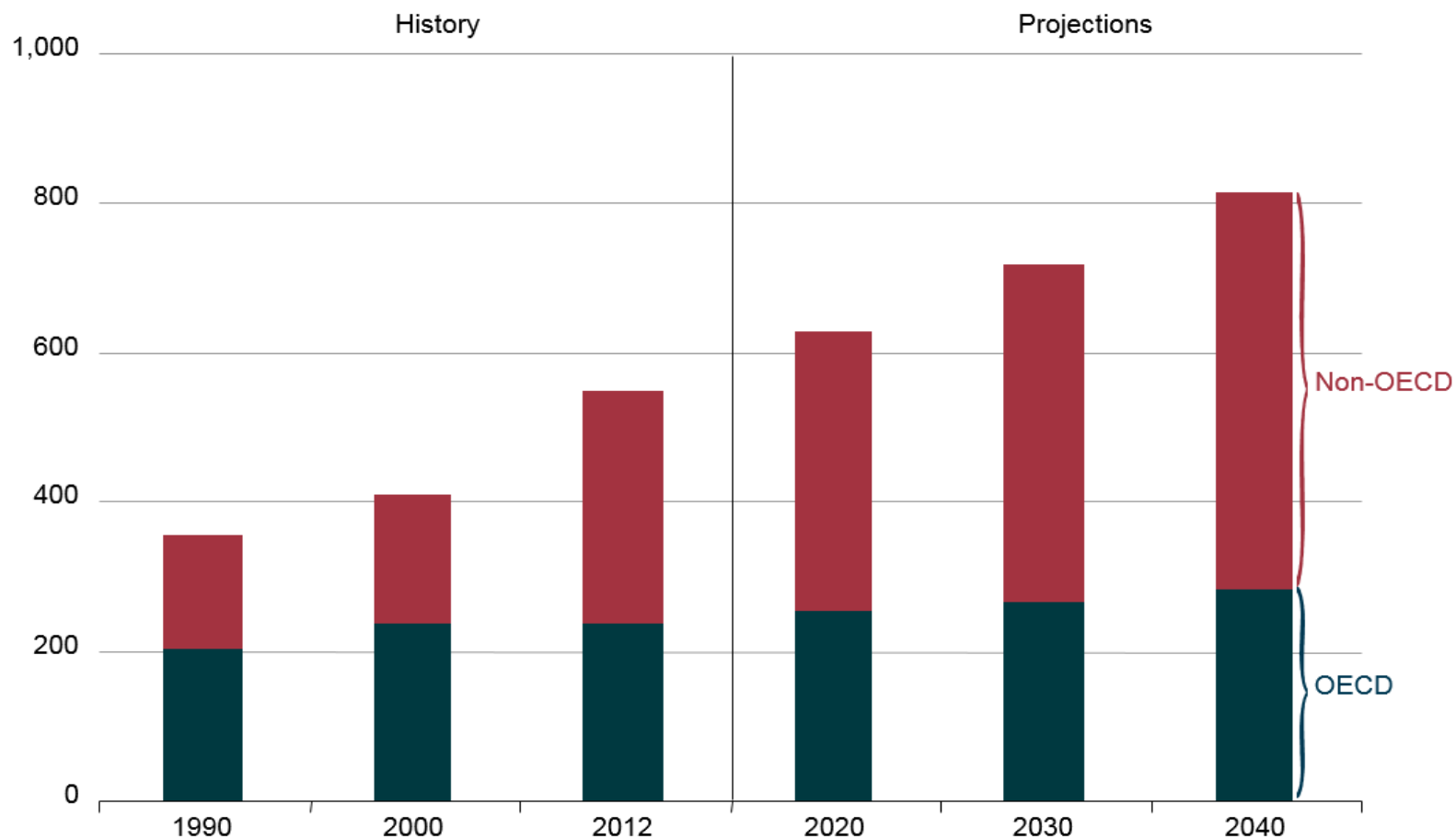
Maria Serra Prat
Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
(CSIC-UPC)

Ponència/debat CMES
Barcelona, 16 gener 2017

- Motivació
- Què és i com funciona una pila de combustible
- Tipus de piles de combustible
- Aplicacions de les piles de combustible
- Estat del mercat
- Avantatges de les piles de combustible
- Problemàtiques per a resoldre

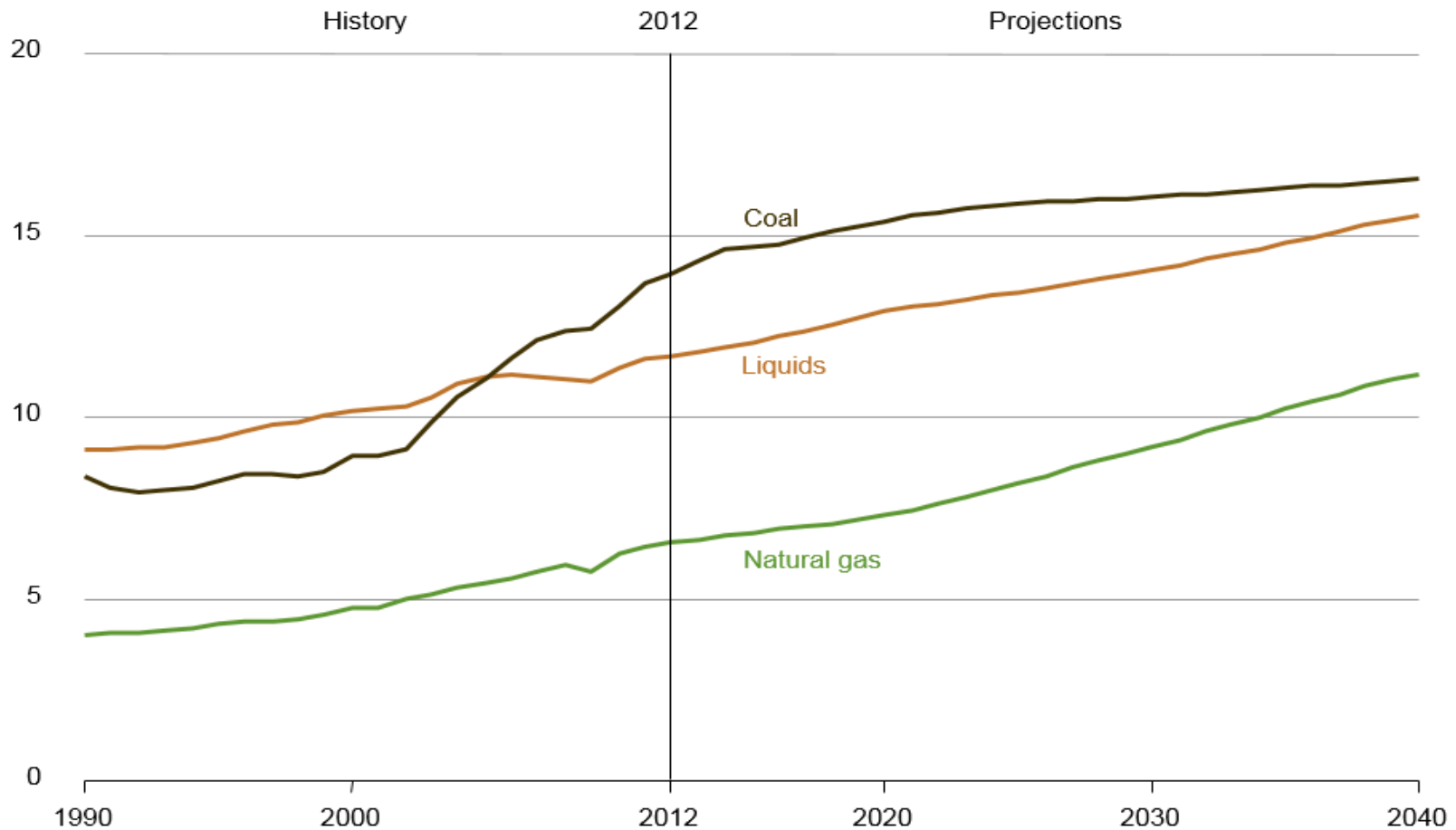
Motivació

Consum energètic mundial en quadrillons de BTU
(International Energy Outlook 2016)



Motivació

Emissions de CO₂ relacionades amb la producció d'energia per tipus de combustible en 10⁹ tones (International Energy Outlook 2016)



Motivació



European Commission

Objectiu: -80% emissions CO₂ (1990 - 2050)

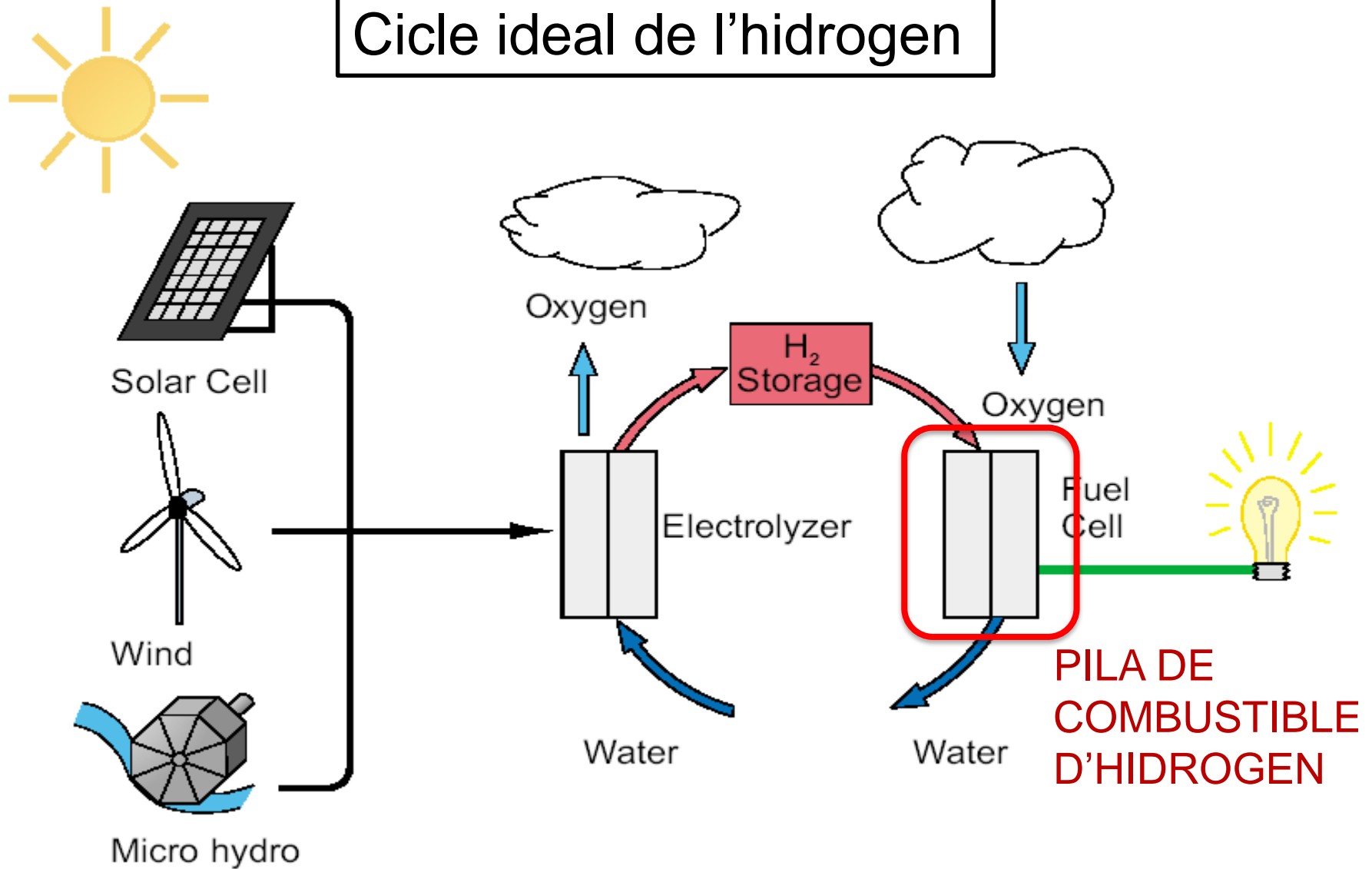


Canvis en el subministrament i en la demanda

Hidrogen
+
Piles de combustible

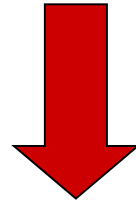
L'hidrogen, un vector energètic

Cicle ideal de l'hidrogen

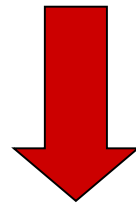


Piles de combustible d'hidrogen

H_2 & O_2



Procés electroquímic
Alta eficiència energètica



Calor



Electricitat DC

1 W/cm^2



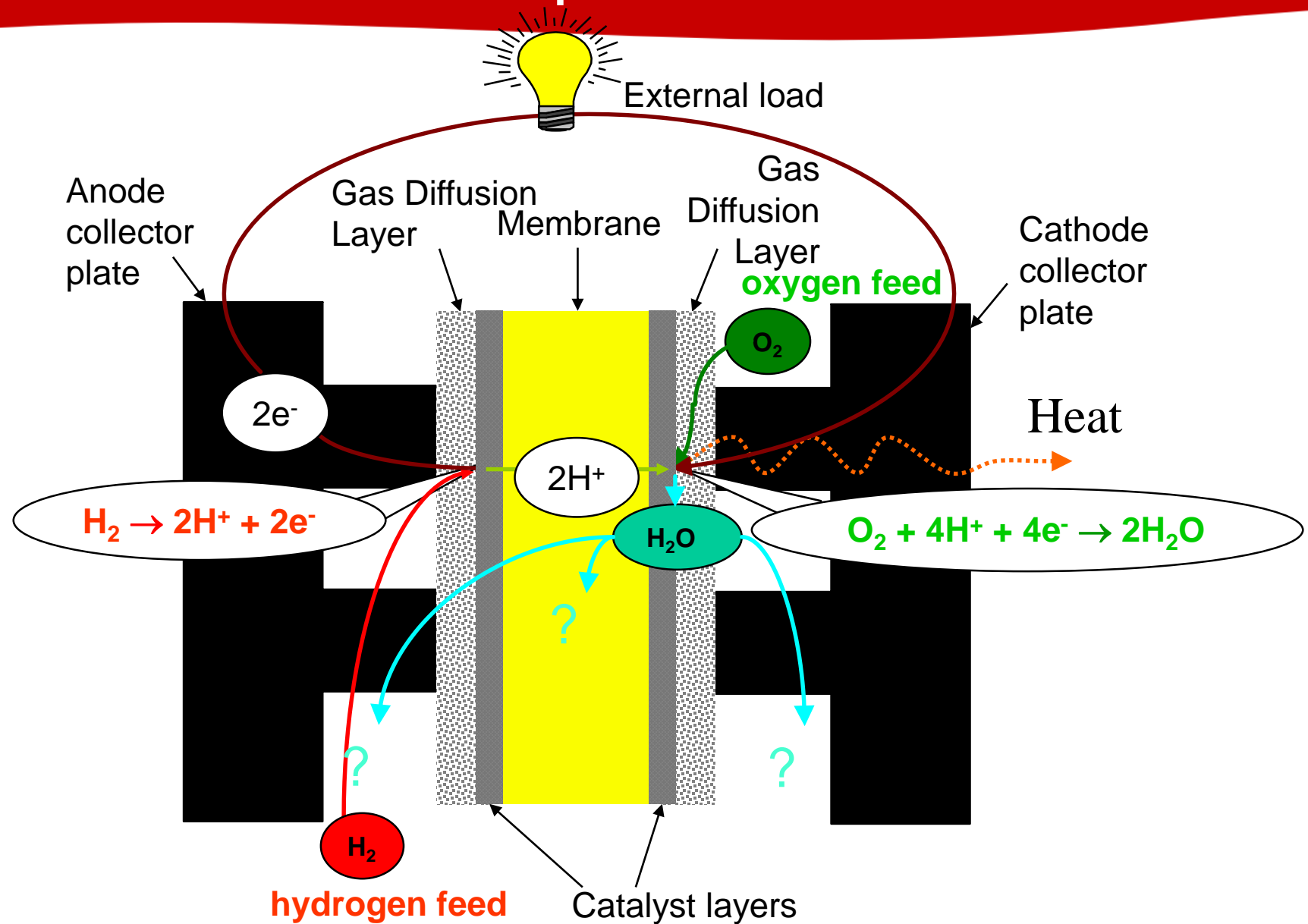
Aigua

Tipus de piles de combustible

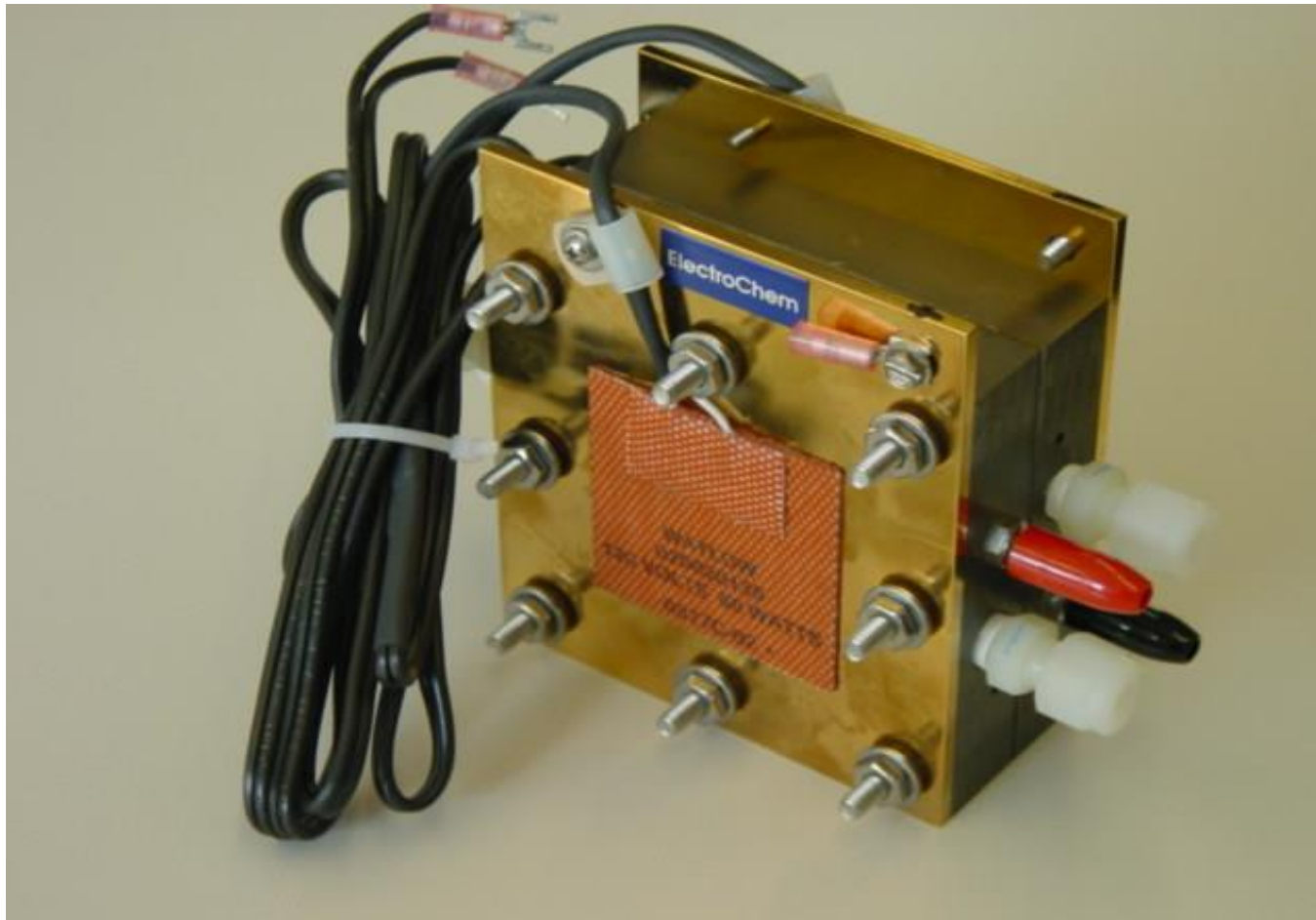
Fuel Cell Type		Electrolyte	Operating Temperature	Electrical Efficiency	Fuel Oxidant	Energy Output
AFC	Alkaline Fuel Cell	Potassium hydroxide solution	Room temperature to 90°C	60-to-70%	H ² O ²	300W-to-5KW
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell	Proton Exchange Membrane	Room temperature to 80°C	40-to-60%	H ² O ² , Air	1KW
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	Proton Exchange Membrane	Room temperature to 130°C	20-to-30%	CH ³ OH , O ² Air	1KW
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell	Phosphoric Acid	160-to-220°C	55%	Natural gas, bio gas, H ² O ² , Air	200KW
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell	Molten mixture of alkali metal carbonates	6200-to-660°C	65%	Natural gas, bio gas, coal gas, H ² O ² , Air	2MW-to-100MW
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell	Oxide ion conducting ceramic	800-to-1000°C	60-to-65%	Natural gas, bio gas, coal gas, H ² O ² , Air	100KW

Source: h-tec, SAE International

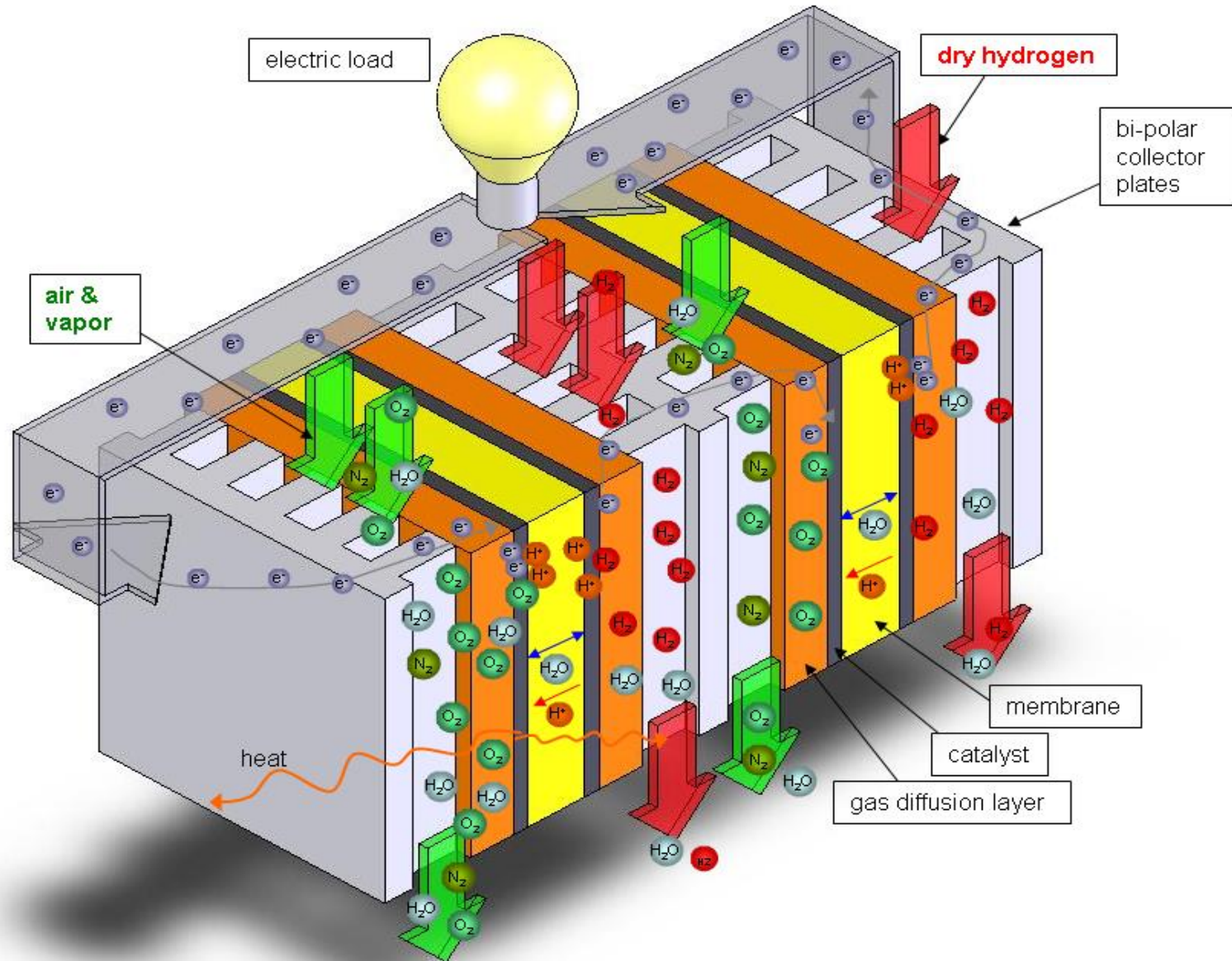
Funcionament d'una pila de combustible PEM



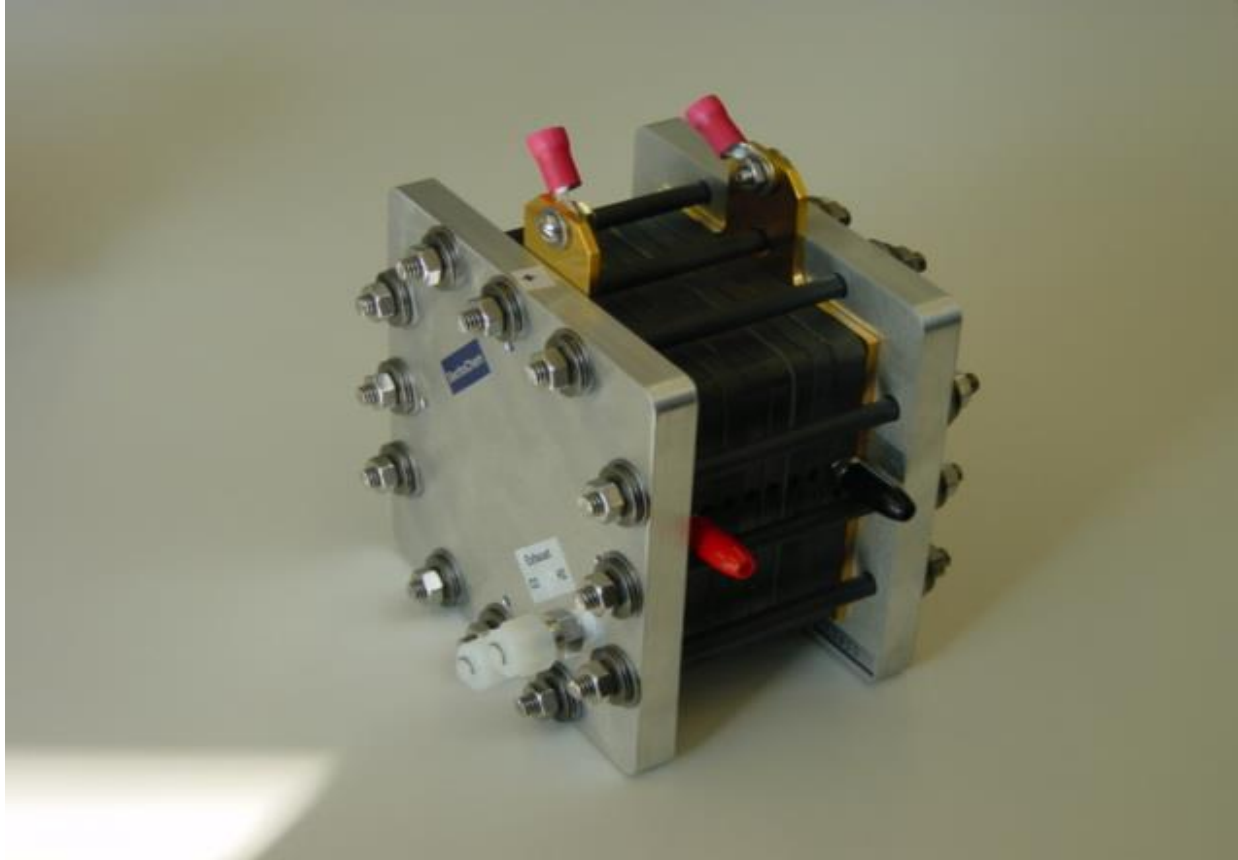
Cel·la de combustible PEM de 1-2 W



Apilant cel·les en sèrie



Piles de combustible



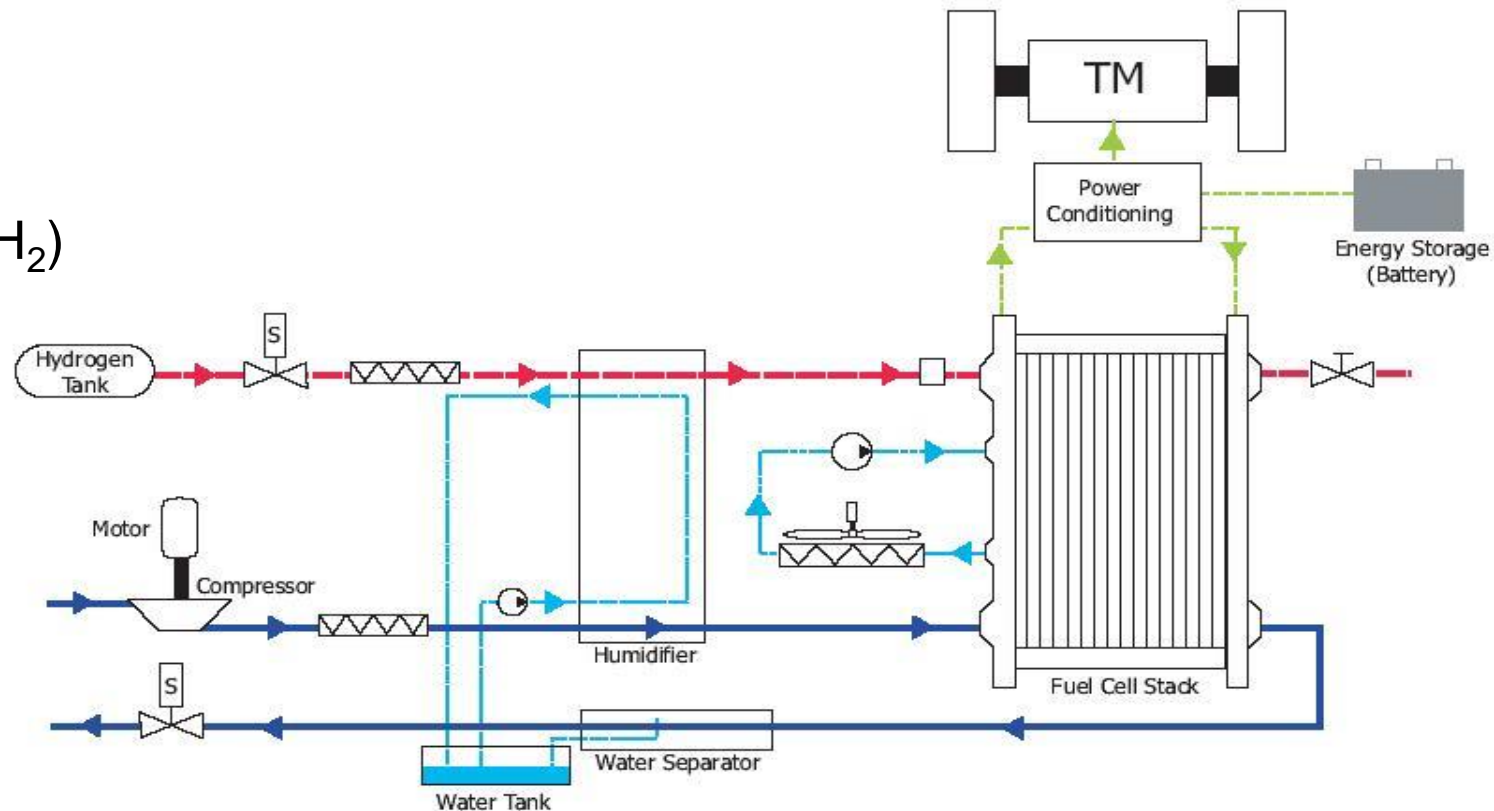
Pila PEM de 150W, IRI (CISC-UPC)



Pila SOFC de 5 kW,
Jülich Research Center

Integració de subsistemes

- Pila PEM
- Alimentació d'H₂
(emmagatzematge d'H₂)
- Alimentació d'O₂
- Gestió de l'aigua
- Gestió de la calor
- Acondicionament de potència elèctrica
- Emmagatzematge d'energia auxiliar



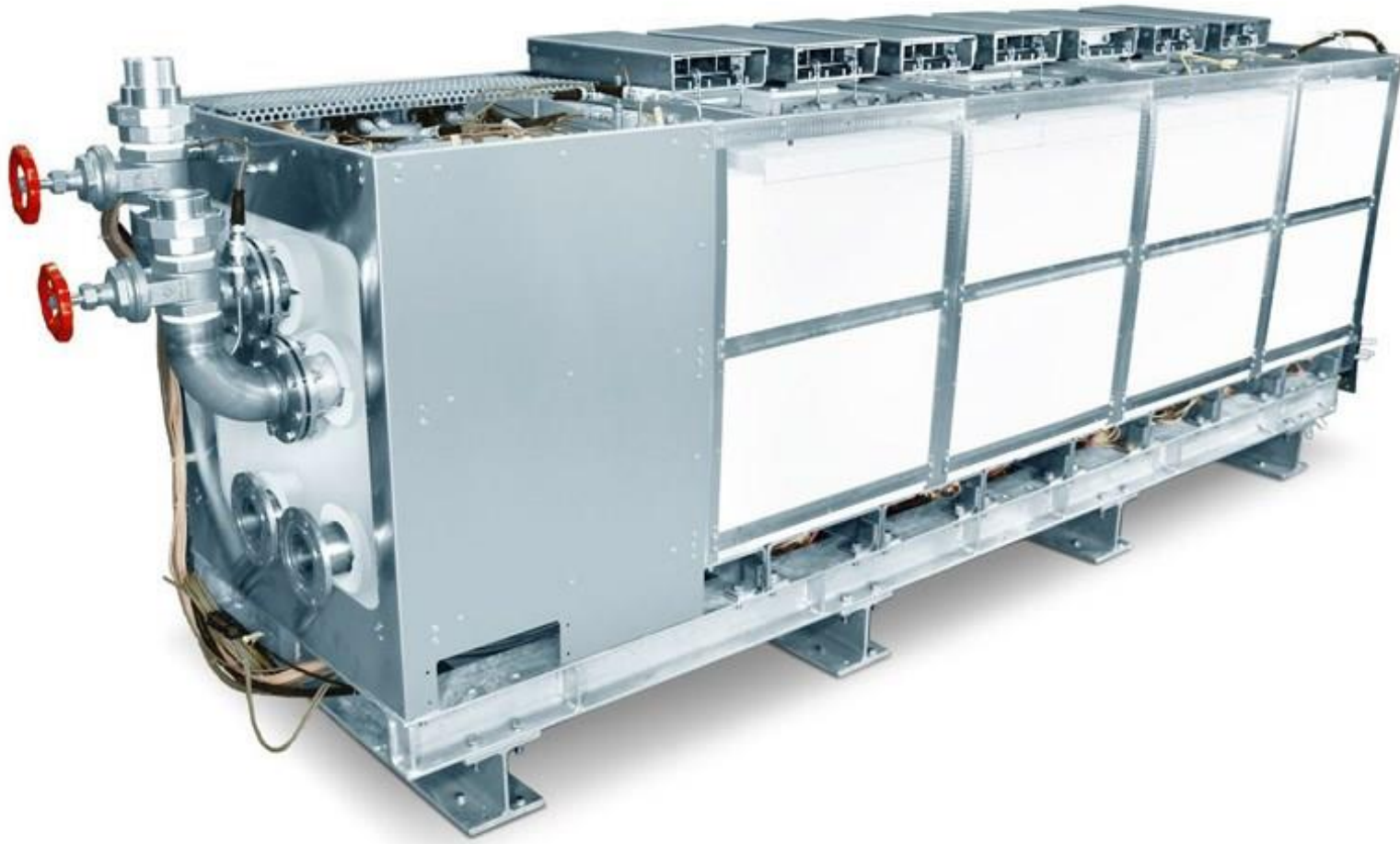
General fuel cell system schematic [Pukrushpan 2005]

El sistema complet



Sistema PEM de 100kW Intelligent Energy
(Automoció)

El sistema complet



Sistema SOFC de 50 kW, Sunfire
(Vaixells)

Aplicacions de les piles de combustible



Portàtils



Estacionàries



Transport



Aplicacions portàtils



MiniPak: carregador USB 2W
amb cartutxos d'H₂, 125€



Hydrofill: carregador del
cartutx d'H₂

Aplicacions portàtils



Core, 1000W, 15 kg, 24V dc,
alimentat per hidrogen



Generador de potència
de lloguer

Aplicacions estacionàries: UPS

BALLARD



FCgen®-H2PM, fins a 30kW, alimentat per H₂

Horizon
Fuel Cell Technologies



EcoBox MFC-150, 150W during 90h

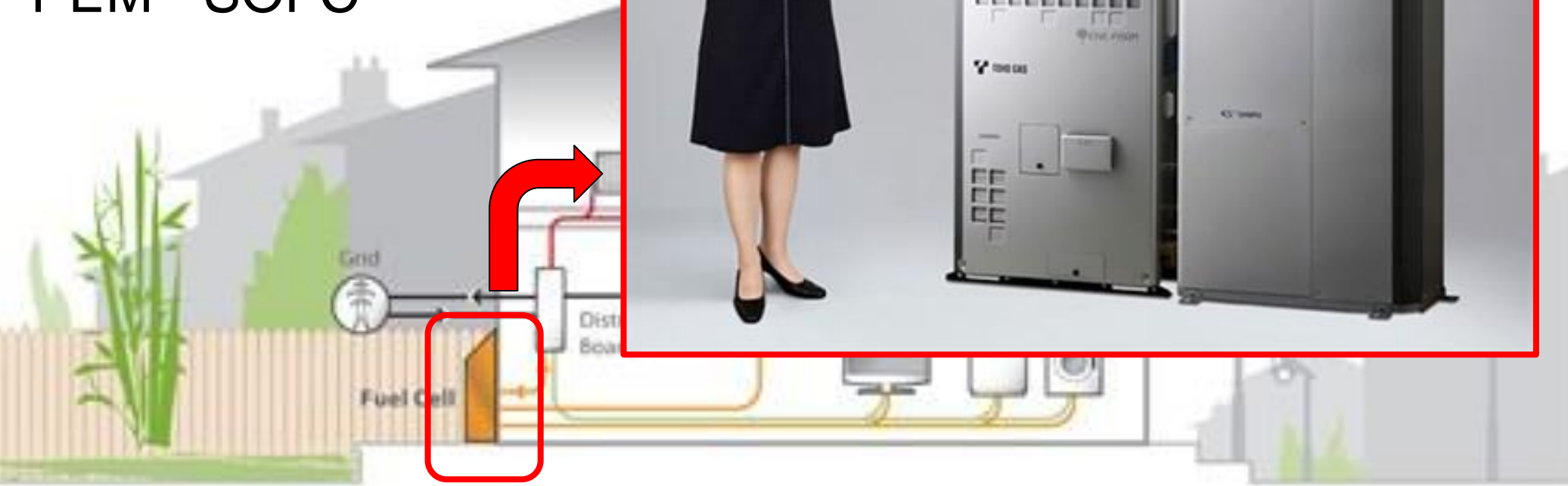


MFC-3000, 3000W during 90h

Aplicacions estacionàries: CHP

Rang p
0.5 – 1

Tecnologia:
PEM - SOFC



Aplicacions estacionàries: estacions de MW

HYDROGENICS
SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD



1 MW PEM fuel cell power plant, alimentat amb H₂

FuelCell Energy
Ultra-Clean, Efficient, Reliable Power



2.8 MW DFC3000 (MCFC),
escalable fins a 15MW,
alimentat amb gas natural

- Gran robustesa i fiabilitat de les estacions en llocs remots o backups (no accés a xarxa):
 - H₂ o gas natural com a backup d'hospitals, universitat... (PEM)
 - H₂ o combustibles líquids als llocs remots
- Augment de l'eficiència en estacions complementàries de la xarxa (CH&P)
 - Aprofitament d'excedents d'electricitat (piles d'hidrogen)
 - Sistemes de CH&P (hidrogen o gas natural)
- Altes eficiències com a generador primari amb cogeneració a partir de diferents combustibles

2015 Fuel cell technologies market report (DOE)

- 11 empreses tenen al mercat sistemes de m-CHP i potència primària
 - Canadà, USA, Alemanya, Japó i Holanda
 - PEM, SOFC, PAFC i MCFC
 - 300W a 1MW
- 18 empreses tenen al mercat estacions de backup i remotes
 - Itàlia, Espanya, França, Suècia, Singapur, Canadà, USA, Alemanya, Japó i Holanda
 - PEM, DMFC, RMFC
 - 45W a 25kW

Aplicacions transport



FCHV-4, Toyota



"ENV bike", Intelligent Energy



Ballard
Bus

Aplicacions transport



Vehicles amb piles PEM

Interès de les companyies automobilístiques en vehicles amb H₂ / FC

Audi A2H2
Audi A7 H-Tron Quattro
Aston Martin Rapide S Hyd Hybrid
BMW HR2
BMW Hydrogen 7
BMW i8 Hydrogen
Cadillac Provoq
Chevy Equinox
Chevy Equinox
Chevy Volt Hydrogen
Chrysler ecoVoyager
Daihatsu Tanto FCHV
Fiat Panda Hydrogen Concept
Ford Airstream Concept
Ford Explorer FCV
Ford Flexible Series Edge
Ford Focus FCV
Ford Model
Ford Super Chief Truck
Giugiaro Vadho

GM Electrovan
GM H2H Hummer
GM Hy-wire
GM HydroGen
GM Sequel
Honda FCV
Honda FCEV
Honda FCX
Honda FCX Clarity
Honda Puyo
Hyundai Blue2
Hyundai I-Blue
Hyundai Intrado
Hyundai Tucson FCEV
Hyundai Tucson FCEV 2000
Kia Borrego FCEV
Kia Sportage FCEV
Mazda 5 Premacy
Mazda RX-8 RE

Mercedes Benz BlueZero F-Cell
Mercedes Benz F015 Fuel Cell
Mercedes Benz F600 Hygenius
Mercedes-Benz B-Class F-Cell
Mercedes-Benz Vision G-Code
Mitsubishi Nessie SUV
Morgan LifeCar
Nissan TeRRA
Nissan X-Trail FCV
Peugeot H2Origin Peugeot 207 Epure
Pininfarina Sintesi
Renault Scenic ZEV H2
Suzuki Ionis Mini
Th!nk Nordic Hydrogen
Think FC5
Toyota FCHV
Toyota FCV Concept
Toyota FCV-R Concept
Toyota Fine-T (Fine-X)

Toyota Mirai
VW Golf HyMotion
VW Passat Lingyu FCV
VW Space Up Blue
VW Tiguan HyMotion
VW Touran HyMotion

COTXES AL MERCAT



Toyota - Mirai



Hyundai ix35FC Tucson



Honda Clarity

Aplicacions transport: cotxes

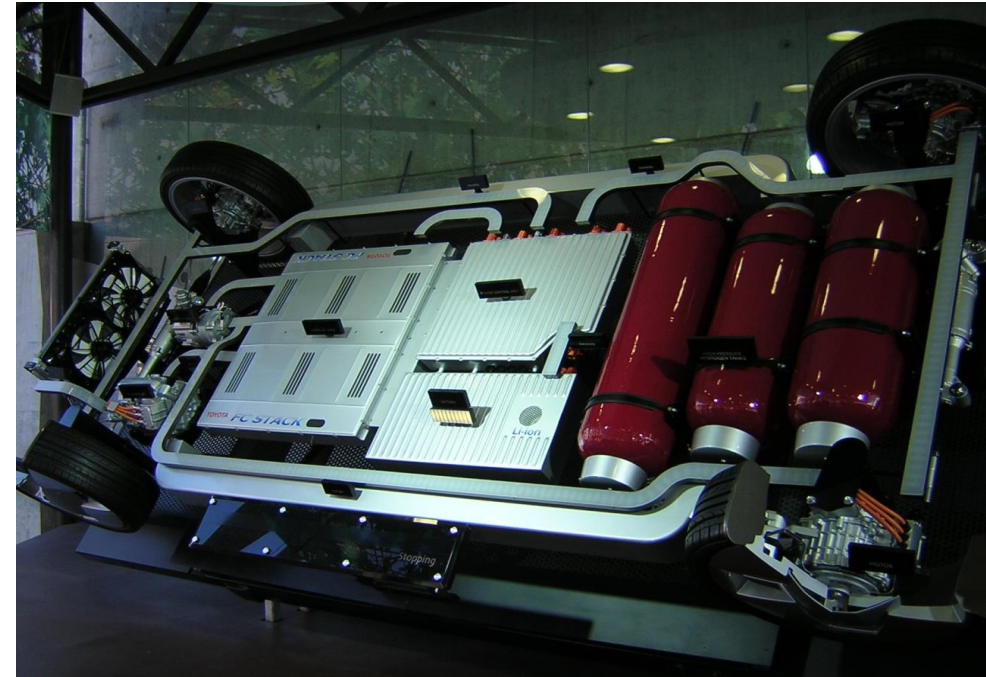
Marca	Model	Pes kg	Autonomia km	Dipòsit	Bateria kW	Eficiència Miles/gge	Vida útil	Preu
Toyota	Mirai	1850	502	2-PFC-122l- 700b -5kgH ₂	1,6	67	8a/160 000 km garant	57,5 k\$ -rebaixa
Hyundai	Tucson	1850	426	x- AlFC- xl - 700b- 5,6kg	24	50	5a	0,5k\$/ mth Ls
Honda	FCX Clarity	1600	482	X - x - x - 500b - 4,1kg		68		

Emmagatzematge d'hidrogen als vehicles

FCHV-4, Toyota

Es necessita aprox 1kg d' H_2 per cada 100km (vehicle d'uns 1500kg)

→ 6 kg per a 600km



Tecnologies:

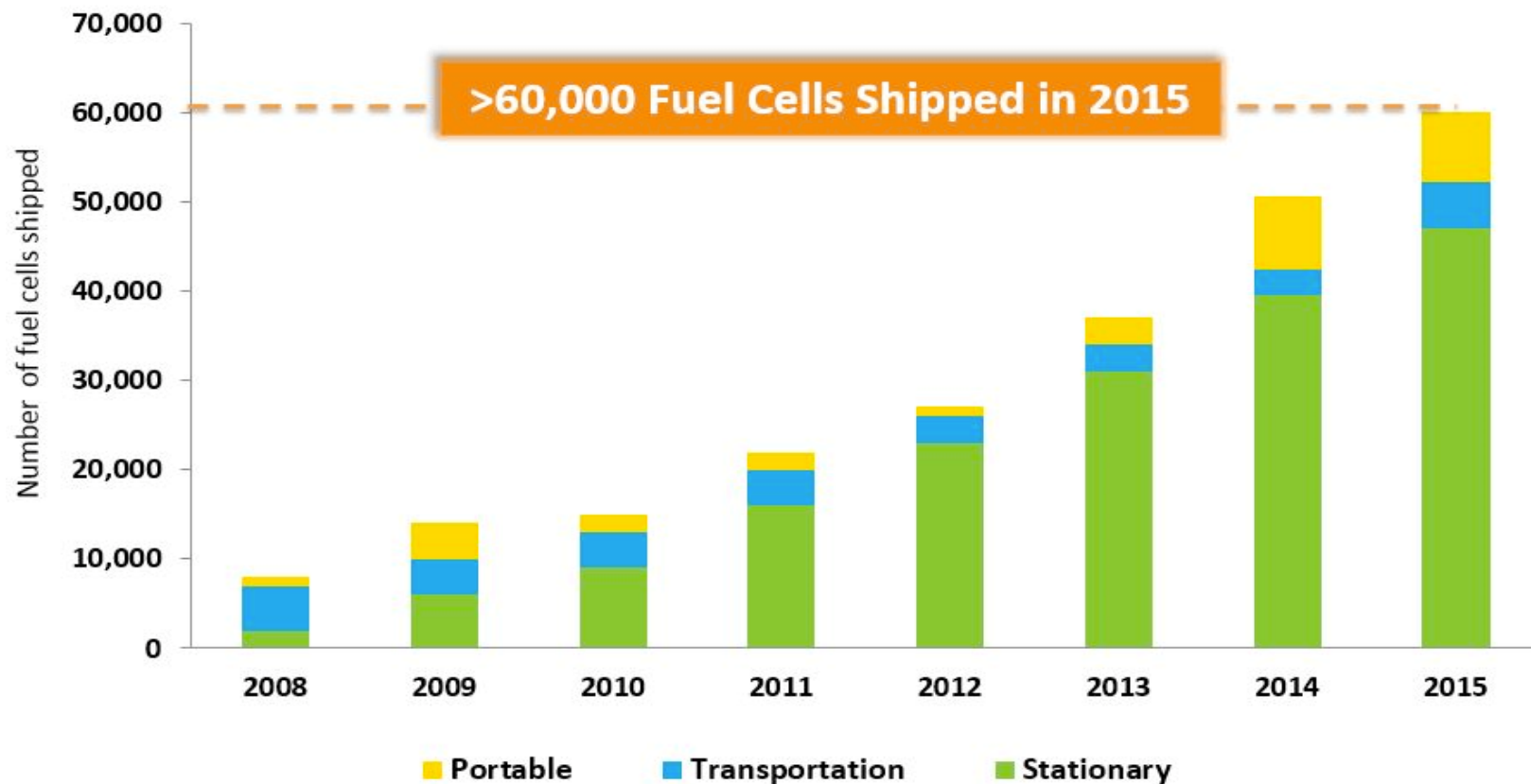
- Hidrurs metà·lics,
- Tancs a pressió,
- Nanomaterials de C (grafè)

Comparativa entre cotxes elèctrics (BEV - FCEV)

- Disponibilitat de recàrrega: millor BEV
- Cost per km: millor BEV
- Disponibilitat de models: millor BEV
- Cost del cotxe: millor BEV
- Temps de recàrrega: millor FCEV
- Pes i volum: millor FCEV
- Autonomia: millor FCEV
- Emissions de CO₂:
 - millor BEV avui dia (H₂ provinent de metà)
 - millor FCEV al futur (H₂ provinent de hidròlisi amb renovables)

2015 Fuel cell technologies market report (DOE)

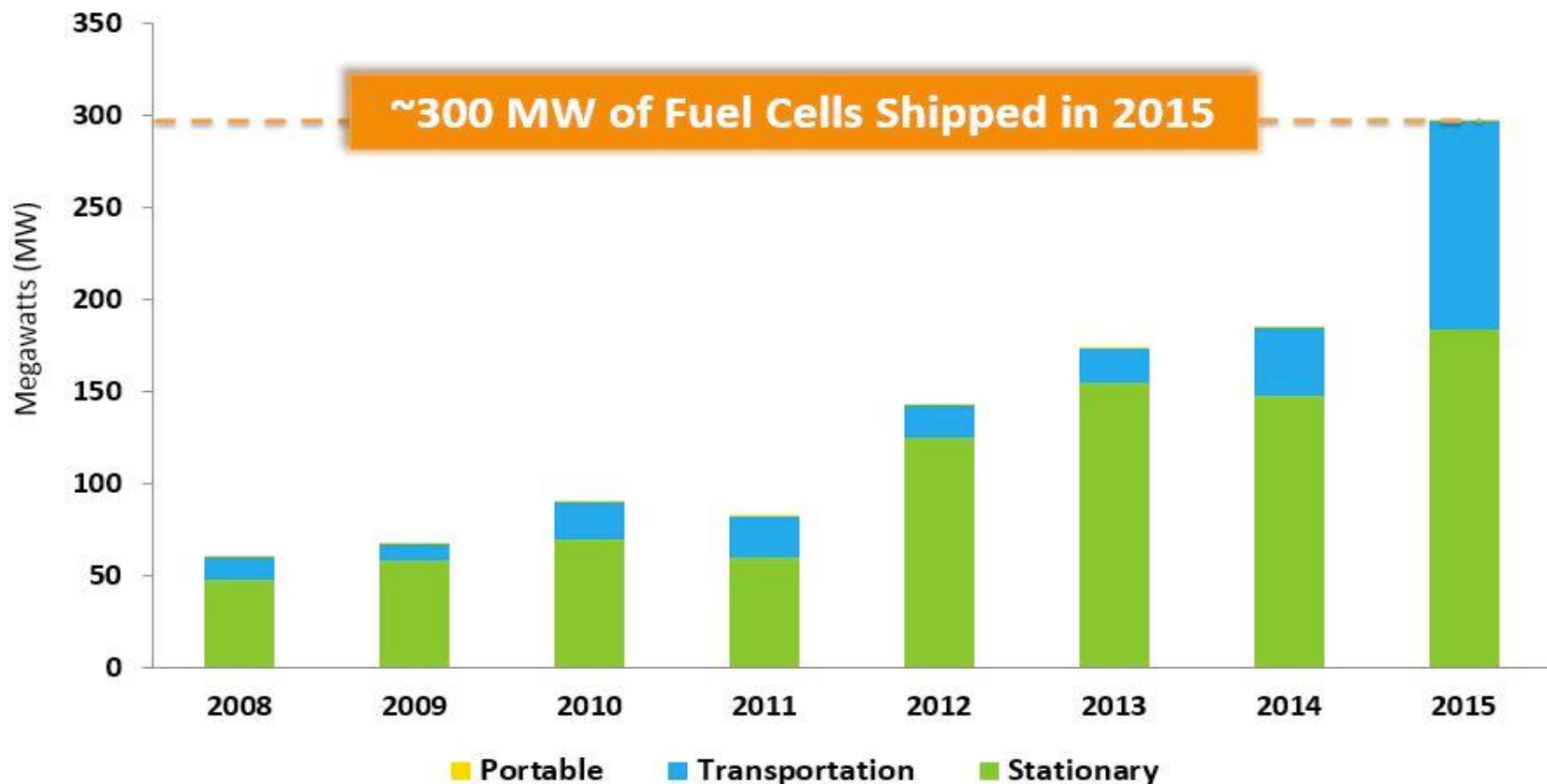
Fuel Cell Systems Shipped Worldwide by Application



Source: Navigant Research (2008-2013) & E4tech (2014-2015)

2015 Fuel cell technologies market report (DOE)

Megawatts of Fuel Cells Shipped Worldwide by Application

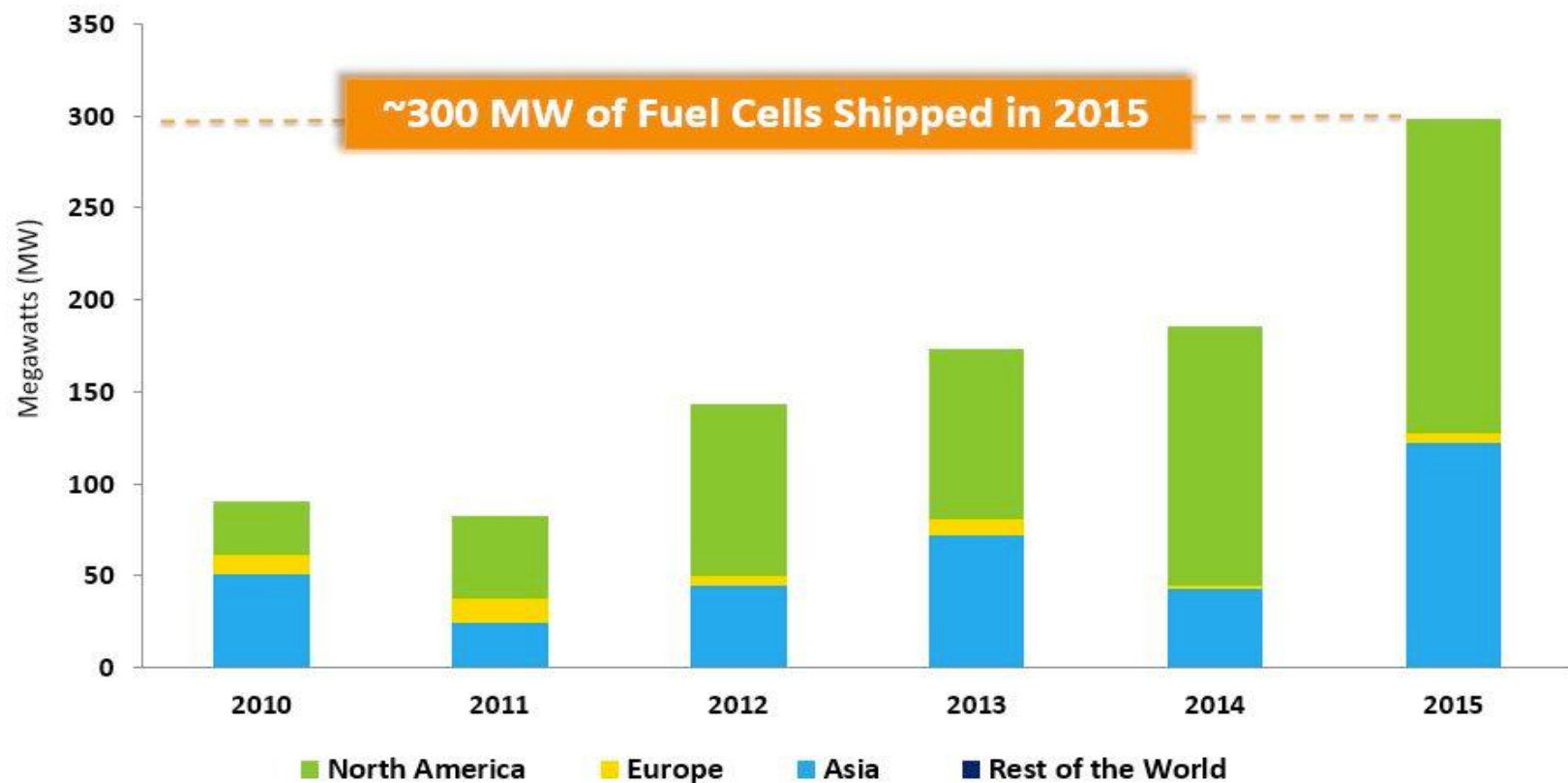


Source: Navigant Research (2008-2013) & E4tech (2014-2015)

Potència mundial de les PdC venudes

2015 Fuel cell technologies market report (DOE)

Megawatts of Fuel Cells Shipped Worldwide by Region of Manufacture



Source: Navigant Research (2008-2013) & E4tech (2014-2015)

Inversions acumulades 2000-2015

Top Ten Fuel Cell Investors		Top Ten Countries with Highest Levels of Private Investment in Fuel Cells	
Company	Amount (Million US\$)	Country	Total All VC and PE Investment (Million US\$)
Credit Suisse (Switzerland)	266.2	U.S.	794.9
Kleiner Perkins Caufield & Byers (U.S.)	105.7	Switzerland	299.8
Superannuation Fund (New Zealand)	100.0	U.K.	245.1
New Enterprise Associates (U.S.)	71.0	Singapore	113.0
Mobius Venture Capital, Inc. (U.S.)	68.2	New Zealand	100.0
GIC Pte. Ltd. (Singapore)	63.0	Canada	73.8
GSV Capital Corp. (U.S.)	54.2	Germany	42.5
DAG Ventures LLC (U.S.)	54.2	Sweden	23.6
Rolls-Royce Holdings PLC (U.K.)	50.0	Russian Federation	21.0
Enertek Services Pte. Ltd. (Singapore)	50.0	Denmark	20.0
Subtotal (top 10 only)	\$882.5	Subtotal (top 10)	\$1,733.7
TOTAL (All Companies and Countries)			\$1,840.7

Avantatges de les piles de combustible

- Alta eficiència
- Modularitat
- Sistemes silenciosos i inodors
- Mínimes emissions (locals)
- Càrrega (o canvi de dipòsit) ràpida
- Addients per a CH&P
- Útils per a l'expansió de fonts renovables que produeixin hidrogen
- Útils per a equilibrar oferta i demanda
- Útils per a tenir sistemes amb P2G i G2P

Reptes crítics de les piles de combustible

- Disminució del preu de producció
 - Disminuir/substituir catalitzadors de Pt
- Augment de la durabilitat
 - Tolerància a les impureses en aire i el combustible
 - Millors processos d'arrencada i parada
 - Menys estrès mecànic i tèrmic (congelació/descongelació)
- Augment de l'eficiència
- Realització de demostracions de gran escala
- Estandarització

Inversions

R&D Expenditures for Select Public Fuel Cell Companies
(Thousands US\$, unless footnoted)

Companies	2015	2014	2013
Ballard Power Systems (Canada)	16,206	14,294	17,117
FuelCell Energy ¹ (U.S.)	17,442	18,240	15,717
Hydrogenics Corp. (Canada)	4,070	3,284	2,566
Plug Power (U.S.)	14,948	6,469	3,121
Ceres Power ^{2, 3} (U.K.)	9,146	7,138	7,190
SFC Energy AG ⁴ (Germany)	5,806	4,530	5,433

2015 Fuel cell technologies market report (DOE)