

# Pilas de Combustible y Electrolizadores de Alta Temperatura: *Potenciales y Desafíos en Argentina*

Adriana Serquis

aserquis@cab.cnea.gov.ar

Departamento Caracterización de Materiales

Centro Atómico Bariloche - ARGENTINA

INN-CONICET-CNEA





COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

# CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

CENTRO ATÓMICO BARILOCHE



INN CNEA-CONICET  
Instituto de Nanociencia y Nanotecnología

# Líneas de I+D+i

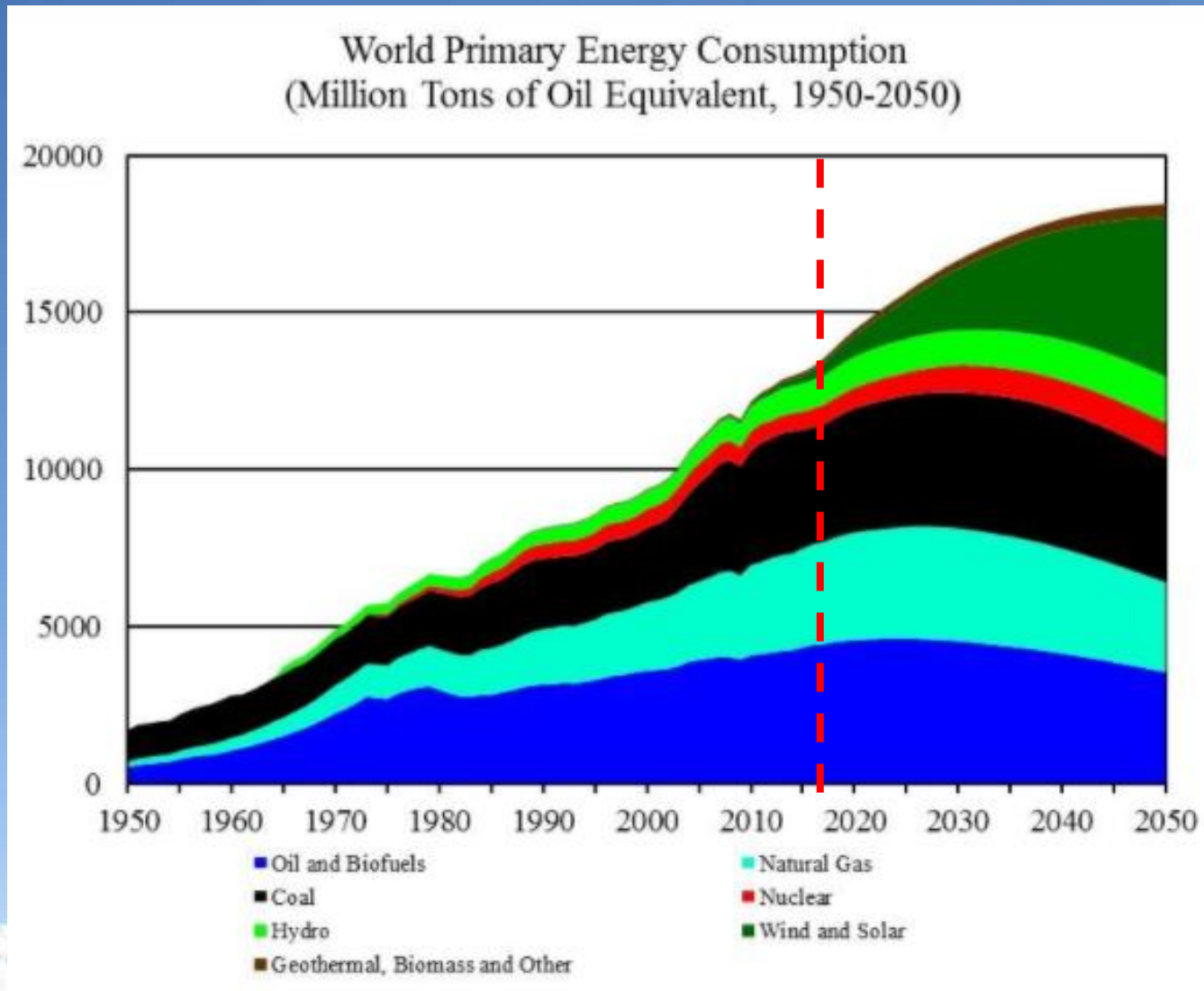
- Celdas SOC (SOEC-SOFC)
- Óxidos nanoestructurados para electrodos de celdas de combustible
- Películas de óxidos de zirconia sobre zircalloy (para aplicaciones nucleares)
- Desarrollo de cables superconductores basados en  $MgB_2$
- Membranas de intercambio y purificación de gases (conductores iónicos y protónicos)
- Captura de gases con materiales compuestos

## CAPACIDADES

- Servicios de caracterización
- Diseñar y construir de equipos/sistemas de medición específicos para medición en laboratorio y entorno de muestras para grandes instalaciones (sincrotrón, neutrones)

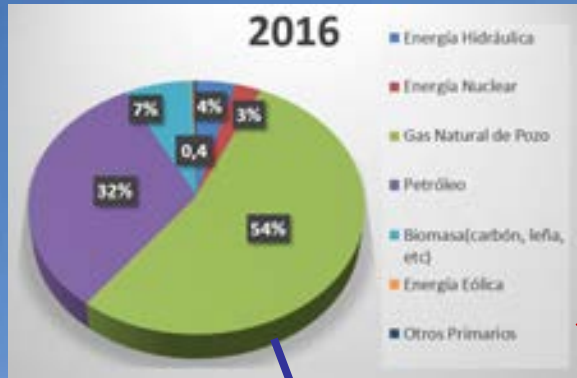


# World Energy 2017-2050: Annual Report



# Transición energética en Argentina

## Generación Argentina\*

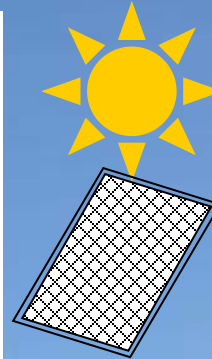
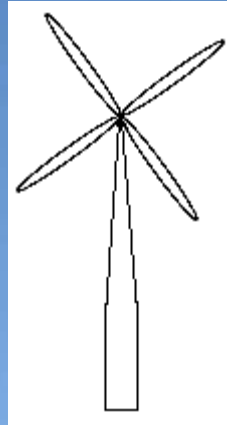


**Petróleo, gas (carbón) 86%**

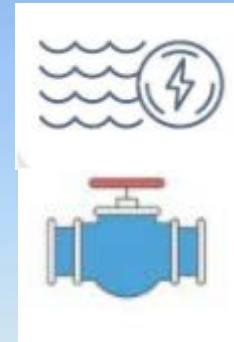
No - renovable

Emisión de gases de efecto invernadero

INTERMITENTE



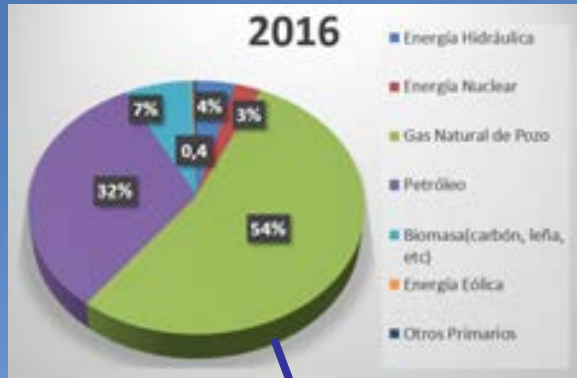
CONTINUA



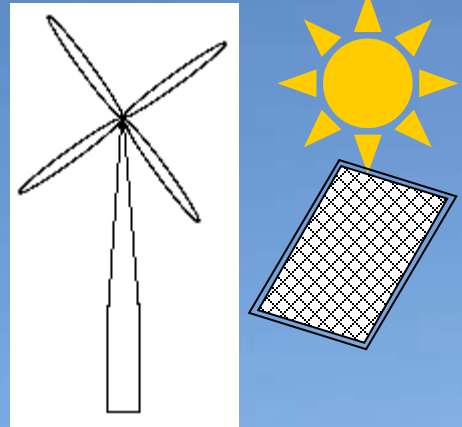
\* Fuente: Secretaría de Energía Argentina

# Transición energética en Argentina

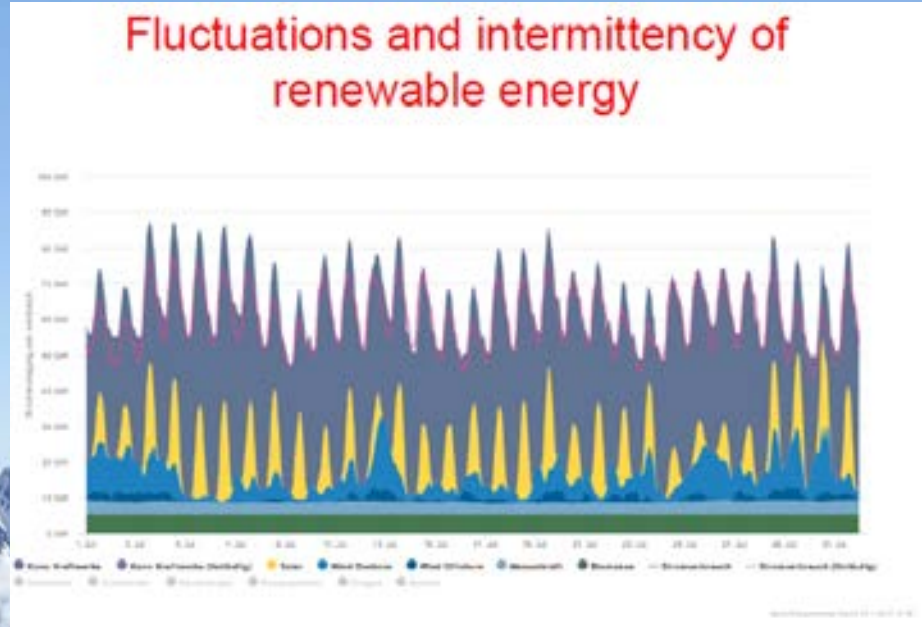
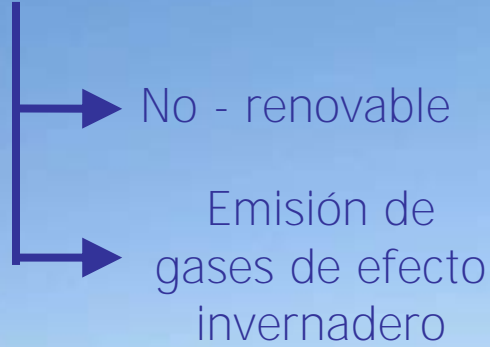
## Generación Argentina\*



INTERMITENTE



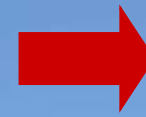
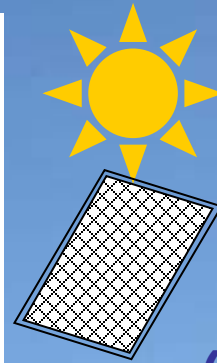
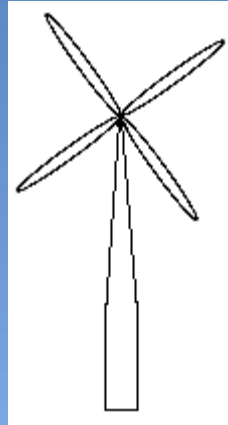
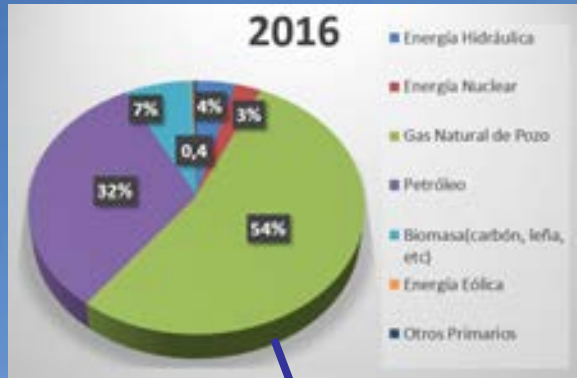
**Petróleo, gas (carbón) 86%**



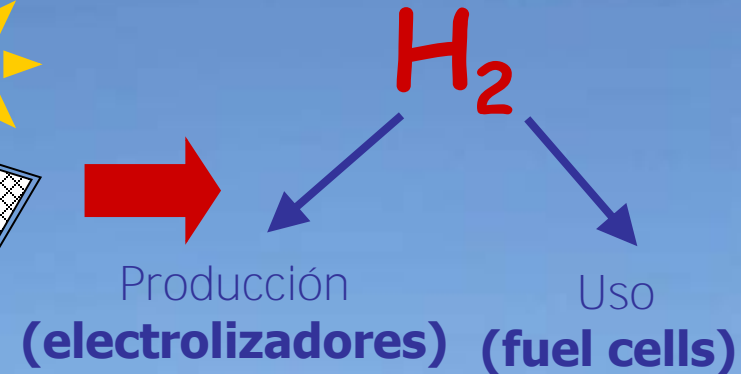
\* Fuente: Secretaría de Energía Argentina

# Transición energética en Argentina

## Generación Argentina\*

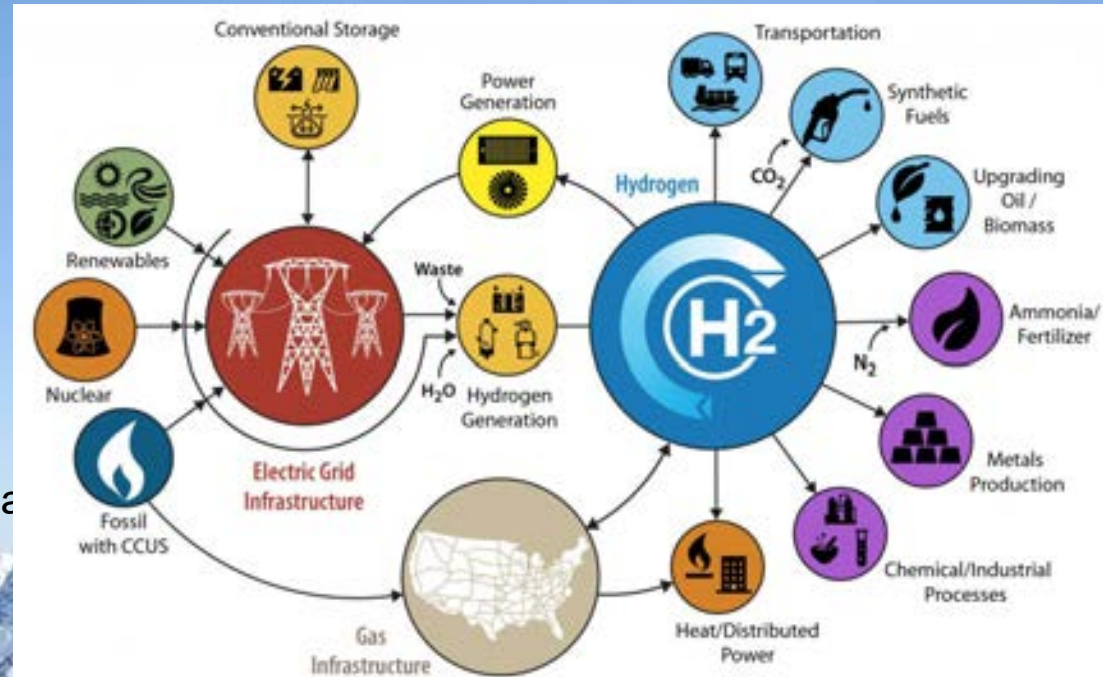


## economía del H<sub>2</sub>



**Petróleo, gas (carbón) 86%**

- No - renovable
- Emisión de gases de efecto invernadero



\* Fuente: Secretaría de Energía Argentina



# **LAS PILAS DE COMBUSTIBLE**





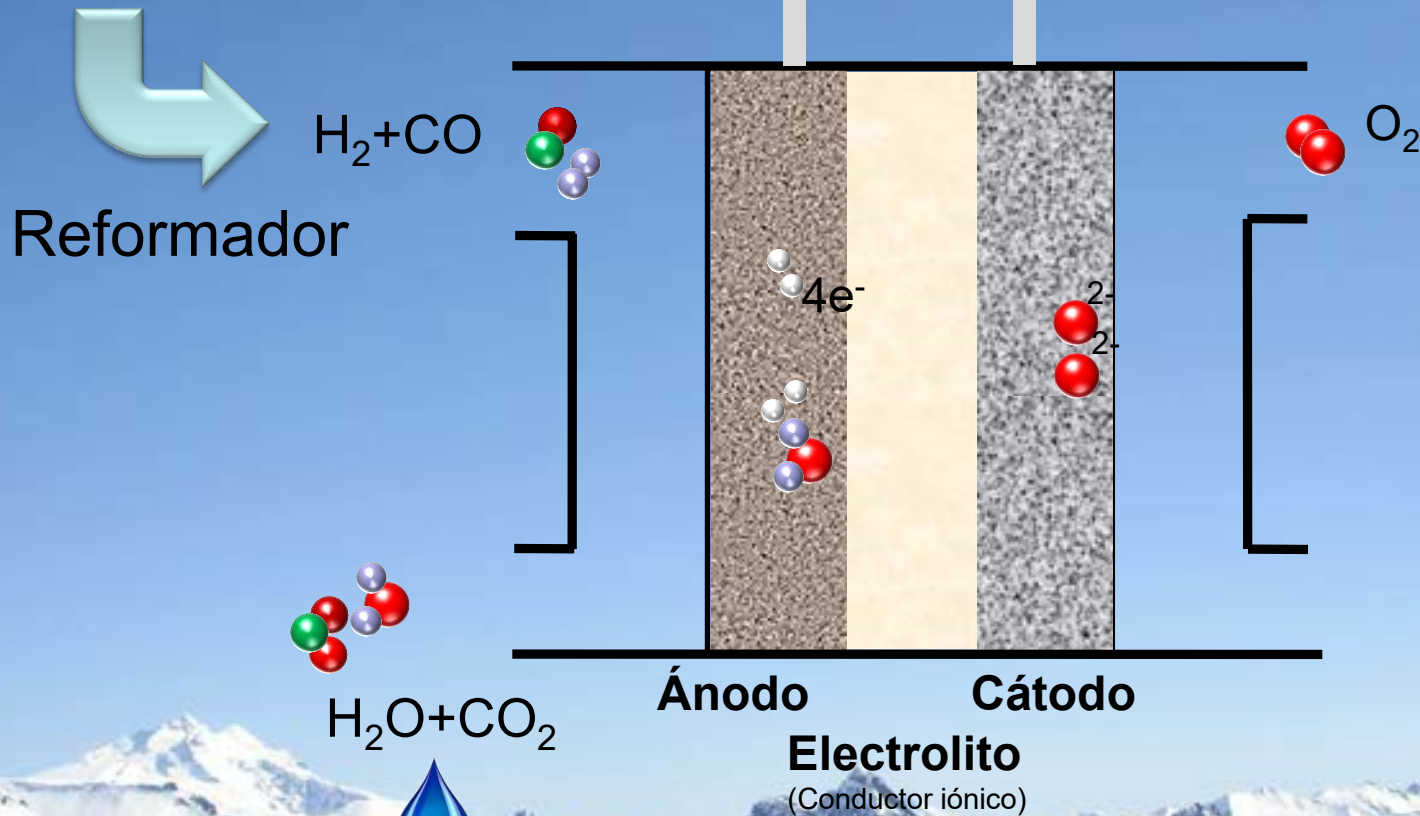
# Cómo funciona una SOFC

**SOLID OXIDE FUEL CELL**

**SOFC con otros combustibles**

Ej: gas natural o biogas

**ELECTRICIDAD  
+  
CALOR**



*Membrane Electrode Assembly (MEA)*

# Generador SOFC

SOLID OXIDE FUEL CELL (SOFC)

- **MATERIALES CERÁMICOS**

$T_{op} > 600^{\circ}\text{C}$

- **SÍMIL BATERÍA**

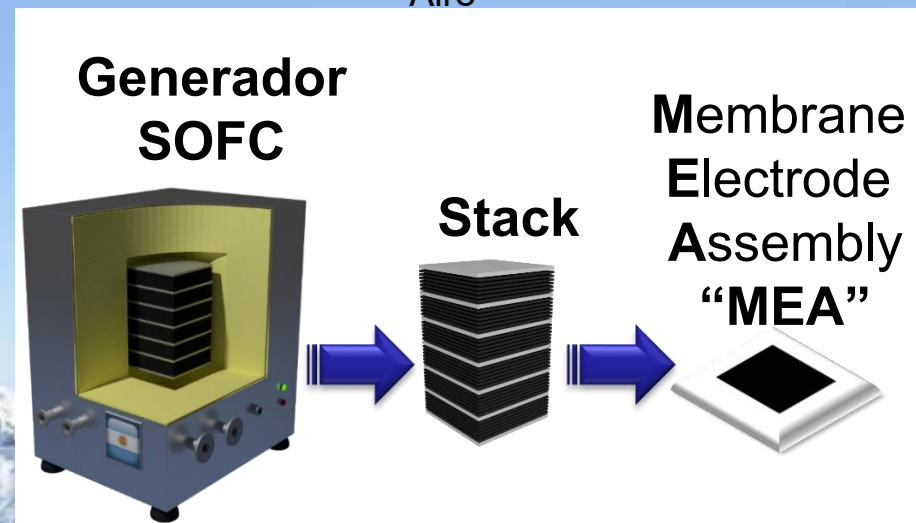
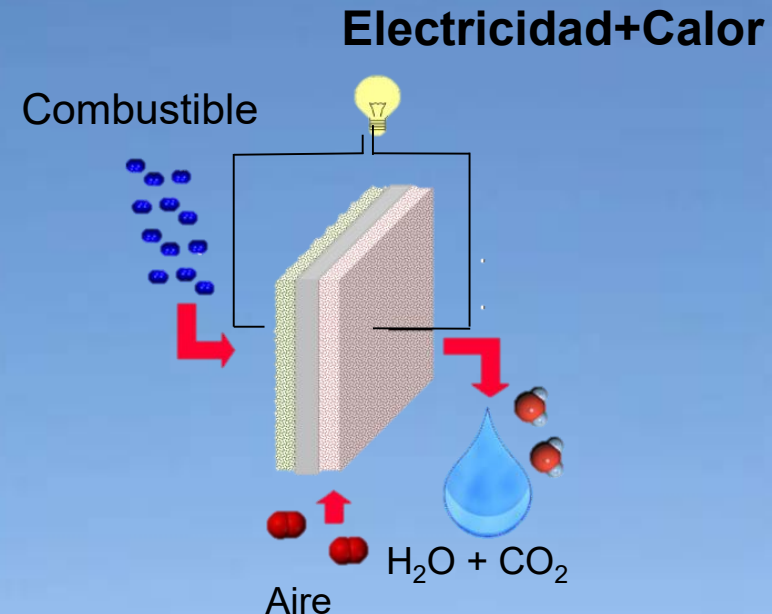
sin tiempo muerto de carga.

- **TECNOLOGÍA MODULAR**

Aplicaciones e integración

- **FUEL-FLEXIBLE**

GNC, Biocombustibles, etc





Ene-Farm



Ene-Field



Demo SOFC

# Generador SOFC

**ENERGIA + CALOR**

**SISTEMAS INTEGRADOS**

SOFC-CHP, SOFC-CCHP, SOFC-GT, ...

**APLICACIONES**

**MERCADO**

**REQUERIMIENTOS TÉCNICOS**

**DESAFÍOS TECNOLÓGICOS**



Atrex Energy

Estación meteorologica



Weichai Power

CeresPower



Solid power  
Rack de datos  
Microsoft



Walmart

Bloom Energy



e-Bio Fuel Cell Nissam

# Celdas SOFC comerciales

- Applications suitable for both residential use and small commercial buildings

Elcore 2400	Dachs InnoGen	Cerapower FC10	Logapower FC10	Vitovalor	SteelGen	Galileo 1000 N	Vaillant G5+	PEMmCHP G5	BLUEGEN	ENGEN 2500	Inhouse 5000+
											
HT PEM	LT PEM	SOFC	SOFC	PEM	LT SOFC	SOFC	SOFC	LT PEM	SOFC	SOFC	LT PEM
300W	700W	700W	700W	700W	700W	1kW	1kW	2kW	2kW	2.5kW	5kW
Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural gas+ Biogas	Natural Gas	Natural Gas + Biogas	Natural Gas	Natural Gas	Natural gas + Biogas + H2
Wall	Floor	Floor	Floor	Floor	Wall	Floor	Wall	Floor	Floor	Floor	Floor
Elcore	SenerTec	Bosch Thermotechnik		Viessmann	Ceres Power	HEXIS	Vaillant	Ballard Power	Solid Power		RBZ

# Celdas SOFC comerciales

News

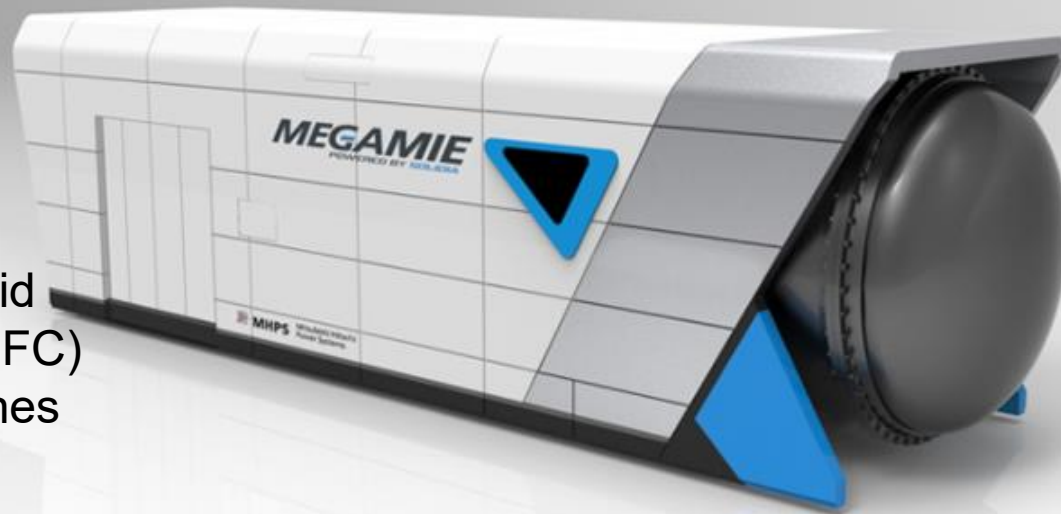
## Mitsubishi Power Receives Order for First Solid Oxide Fuel Cell in Europe

By FuelCellsWorks | **October 30, 2020** | 3 min read (433 words)

0 Comments

October 30, 2020

Hybrid System of Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) and Micro Gas Turbines (MGT) 250 kW



# Balance Energético Nacional-2017

## CONSUMO SEGÚN SECTOR (55Mtep)



# POTENCIALES Y DESAFÍOS

- ✓ GENERACION ELECTRICA DOMICILIARIA
- ✓ GENERACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA CALIDAD
- ✓ GENERACIÓN EN INSTALACIONES INDUSTRIALES
- ✓ GENERACIÓN REMOTA
- ✓ ALMACENAMIENTO
- ✓ AUTOMOTRIZ

PROYECTO PROTOTIPO SOFC SANTA FE

# POTENCIALES Y DESAFÍOS GENERACION ELECTRICA DOMICILIARIA



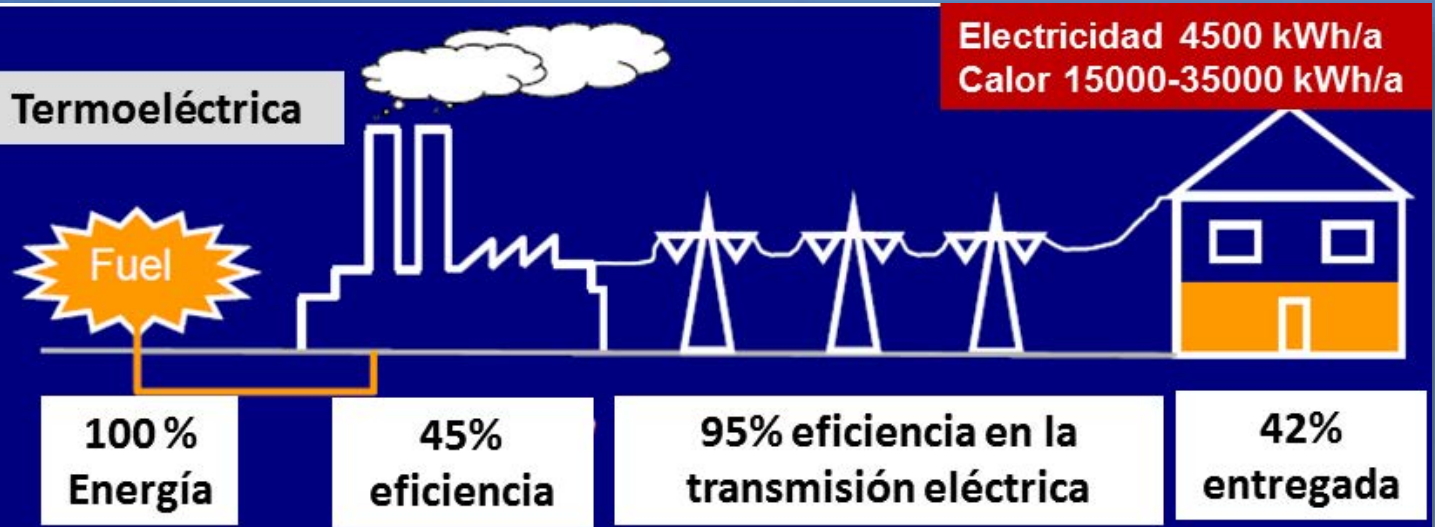


# Generación eléctrica domiciliaria

SOFC 1kW+CHP: Una alternativa a pequeña escala con un gran impacto



## Termoeléctrica



## SOFC-CHP domiciliario



BlueGen, SolidPower (1.5 kW<sub>e</sub>-0.6 kW<sub>t</sub>- USD 30.000)

# Generación eléctrica domiciliaria

SOFC 1kW+CHP: Una alternativa a pequeña escala con un gran impacto

**Programa Ene-Farm  
(Japón), >11.000 unidades  
de ~1 kW -GN.**



**Programa Ene-Field (Europa). 600  
unidades e/0.7-2,5 kW. GN o biogás.**

Hexis (Suiza), SolidPower (Italia), Ceres Power (Suiza), Vaillant, y Bosch-Thermotechnik.



**BlueGen, SolidPower (1.5 kW<sub>e</sub>-0.6 kW<sub>t</sub>- USD 30.000)**

# Generación eléctrica domiciliaria

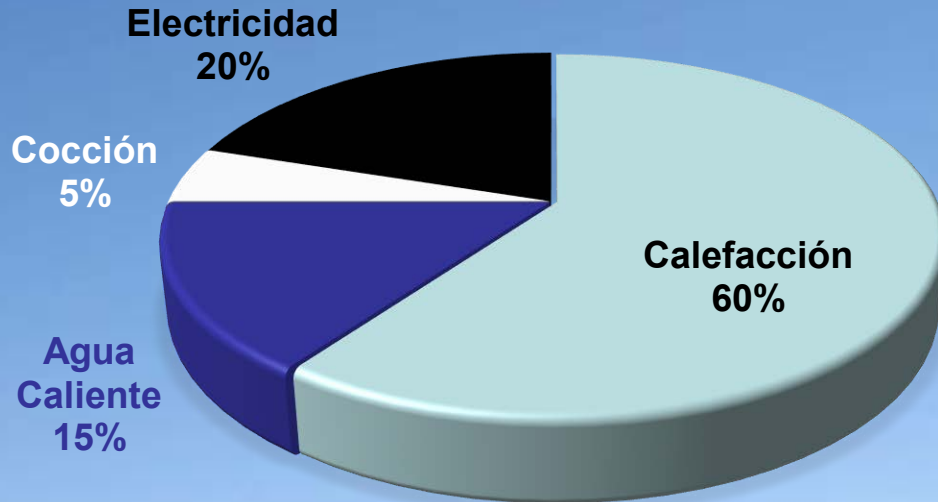
SOFC 1kW+CHP: Una alternativa a pequeña escala con un gran impacto

Vivienda 120 m<sup>2</sup>-familia promedio

Electricidad 4500kWh/a

Calor 15000-35000 kWh/a

## DISTRIBUCION CONSUMO ENERGETICO DOMICILIARIO

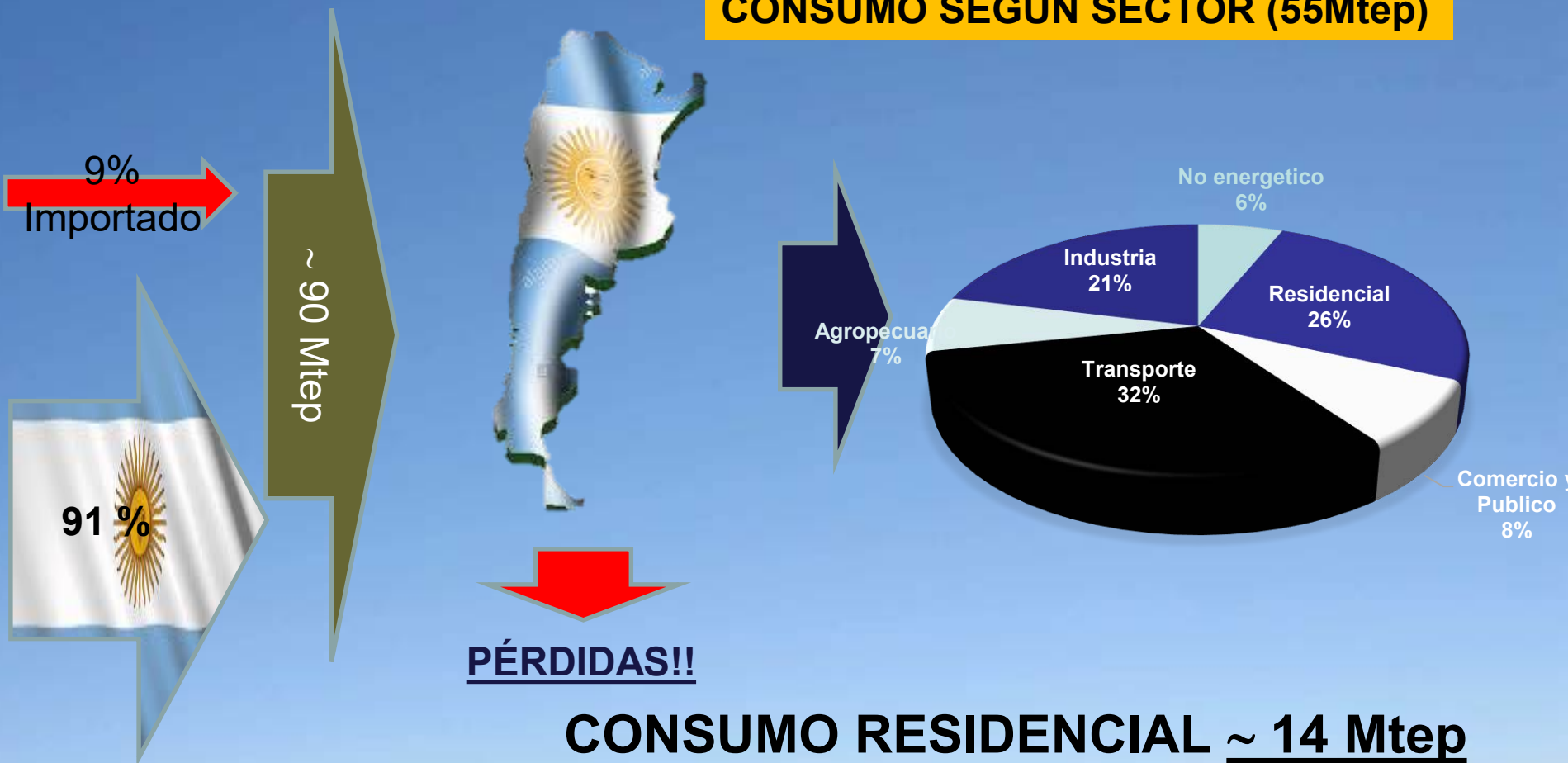


Abastecer vivienda: SOFC+Sistema calefacción Auxiliar



# Balance Energético Nacional-2017

## CONSUMO SEGÚN SECTOR (55Mtep)



# Generación eléctrica domiciliar

## Potenciales SOFC Residencial

- 20-30% Ahorro energético en el BEN destinado a Uso Residencial:

20 Mtep → 16 o 14 Mtep

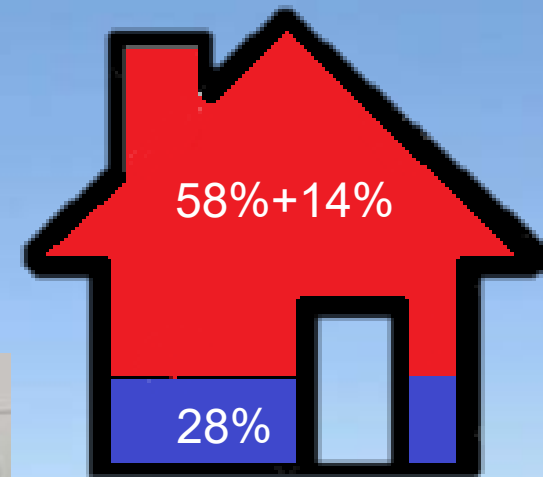
- 75% Ahorro económico al consumidor

1,16\$/kWh → 0,25\$/kWh

- Gen. Elec. SOFC Reduce 55% emission CO<sub>2</sub>\*
- Infraestructura disponible (Red GN)
- Recurso de combustible (GN, biocombustibles, etc)



Combustible  
(calef.+cocción+agua cal.)



Energía Eléctrica

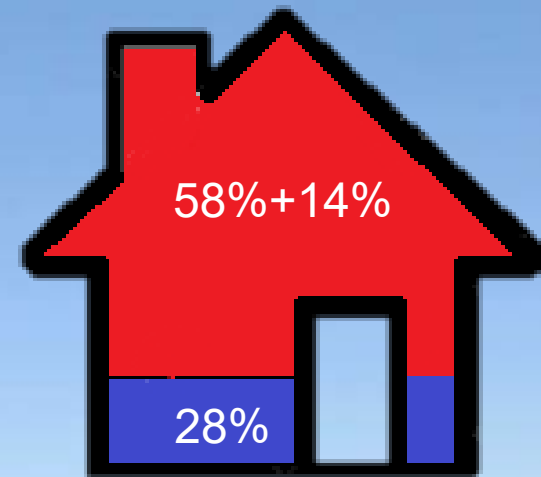
# Generación eléctrica domiciliar

## Desafíos SOFC Residencial

- Costo Instalación: BlueGen, SolidPower (1.5 kW<sub>e</sub>-0.6 kW<sub>t</sub>- USD 30.000; ~20u\$s/W)
- Costo Mantenimiento: 60-70% costo/ 4-5 años
- Nueva Tecnología
- Tecnología importada
- Se recomienda operación continua → no a demanda



Combustible  
(calef.+cocción+agua cal.)



Energía Eléctrica

# Precios de referencia de instalaciones de generación eléctrica distribuida del Mercado Mundial y Argentino.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de mercado.

Tipo de generación		Costo mercado mundial (u\$/W)	Costo mercado argentino (u\$/W)
Distribuida en red* (Generación)		0,5	1 – 3
Distribuida en remota (Generación y almacenamiento)	Calidad industrial	120	200
	Calidad no industrial	10	10-11

\*Generación distribuida en red se refiere a equipos de < 10 kW conectados a la red eléctrica

<sup>[1]</sup> El costo de las aplicaciones remotas de tipo industrial aumenta drásticamente debido a que, la necesidad de una alta disponibilidad de la capacidad de generación eléctrica requiere sobredimensionar el sistema y las baterías de respaldo, lo cual impacta en la inversión de capital requerida.

## Costo de Instalación de Equipos

**SolidPower ~20u\$/W**

# POTENCIALES Y DESAFÍOS GENERACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA CALIDAD





# Aplicaciones SOFC – Servidores de energía/Back up

Fuente de alimentación confiable y ecológica para datacenters



Bloom Energy, USA-  
160-250 kW/módulo-GN o Biogas

Eficiencia 52-65%.

Apple, Google, Wal-Mart, AT&T,  
USD 7.000-8.000/kW



- 2017 Centro de datos Microsoft (Seattle)  
Proyecto innovador: Producción de energía con generadores SOFC SOLID power directamente en el rack
- Reduce costo operativo (estiman ahorro 100 Mu\$/todo Microsoft)
  - Reducen la huella de carbono
  - Mejora la confiabilidad.

Potencial → Crecimiento del sector en Argentina



HOME BANKING

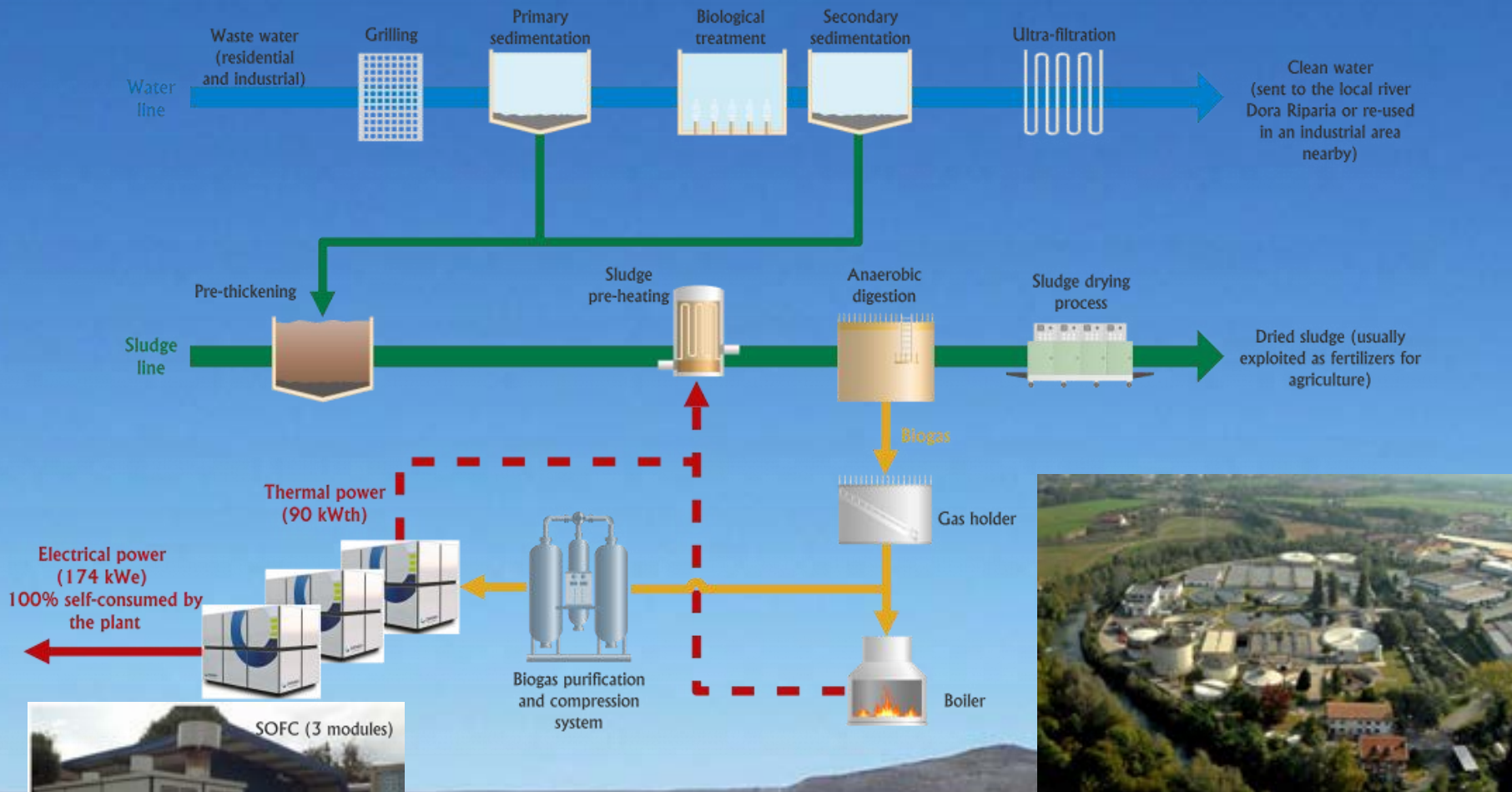
# POTENCIALES Y DESAFÍOS GENERACIÓN EN INSTALACIONES INDUSTRIALES



# Instalaciones industriales

**Proyecto DEMOSOFC (Italia): Planta de tratamiento de aguas residuales electricidad+calor con SOFC (Etapa1 58 kW – Convion-Finlandia) .**

[www.demosofc.eu/](http://www.demosofc.eu/)



DEMO-SOFC  
Torino-Italia



~5,9 M€ (EU apporto 4,5 M€)



# POTENCIALES Y DESAFÍOS GENERACIÓN REMOTA



# Aplicaciones SOFC – Instalaciones remotas

Atrex Energy (Estados Unidos). 400 generadores SOFC e/250 y 1.500 W para instalaciones remotas: Sistemas de telecomunicaciones, sistemas de protección catódica, sistemas SCADA, estaciones meteorológicas, etc.

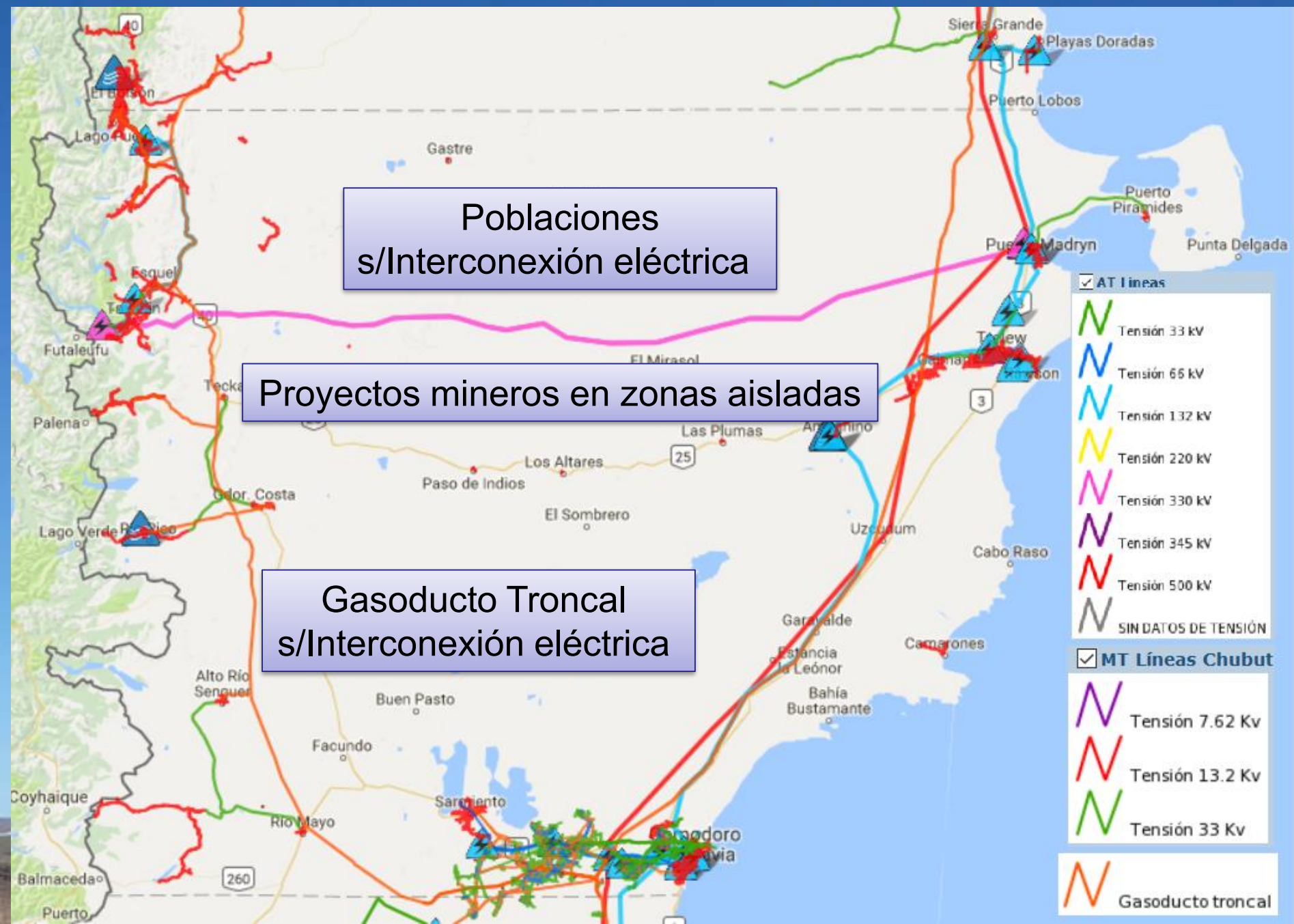
<http://www.atrexenergy.com/>



**Atrex, USA- 2-60 V, 150-4.500 W**

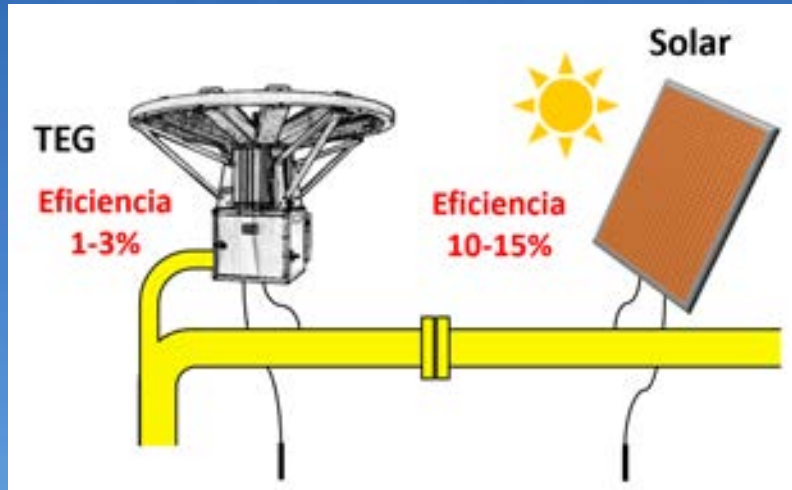


# NECESIDAD GENERACIÓN DE ELÉCTRICA DISTRIBUIDA

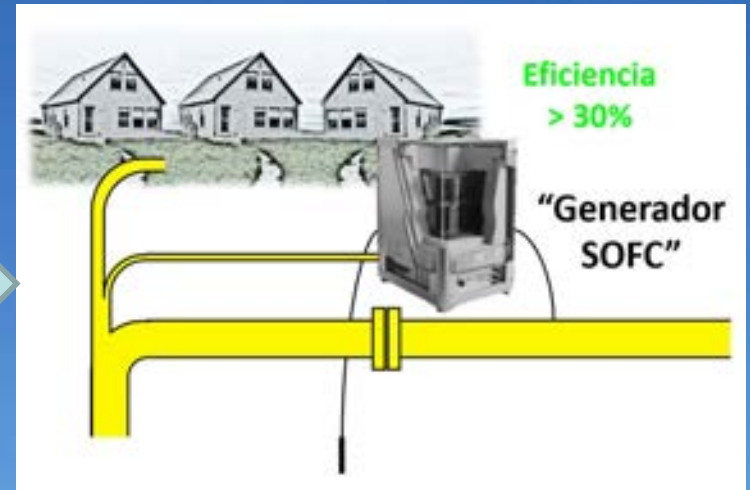


# Sistemas de protección catódica

Actual



Propuesta



Tecnología / Característica	SOFC (este proyecto)	SOFC (estado del arte)	TEG	Solar
Precio	3/4	1/2	1/2	1/4
Consumo de combustible	1/4	1/4	0	1
Eficiencia	1	1	0	1/2
Vida útil	1/4	1/2	1/4	1/2
Mantenimiento	1/4	1/2	1/4	1/2

Peor ← → Mejor

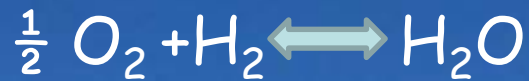


# POTENCIALES Y DESAFÍOS ALMACENAMIENTO



# ReSOC:

dispositivo electroquímico reversible

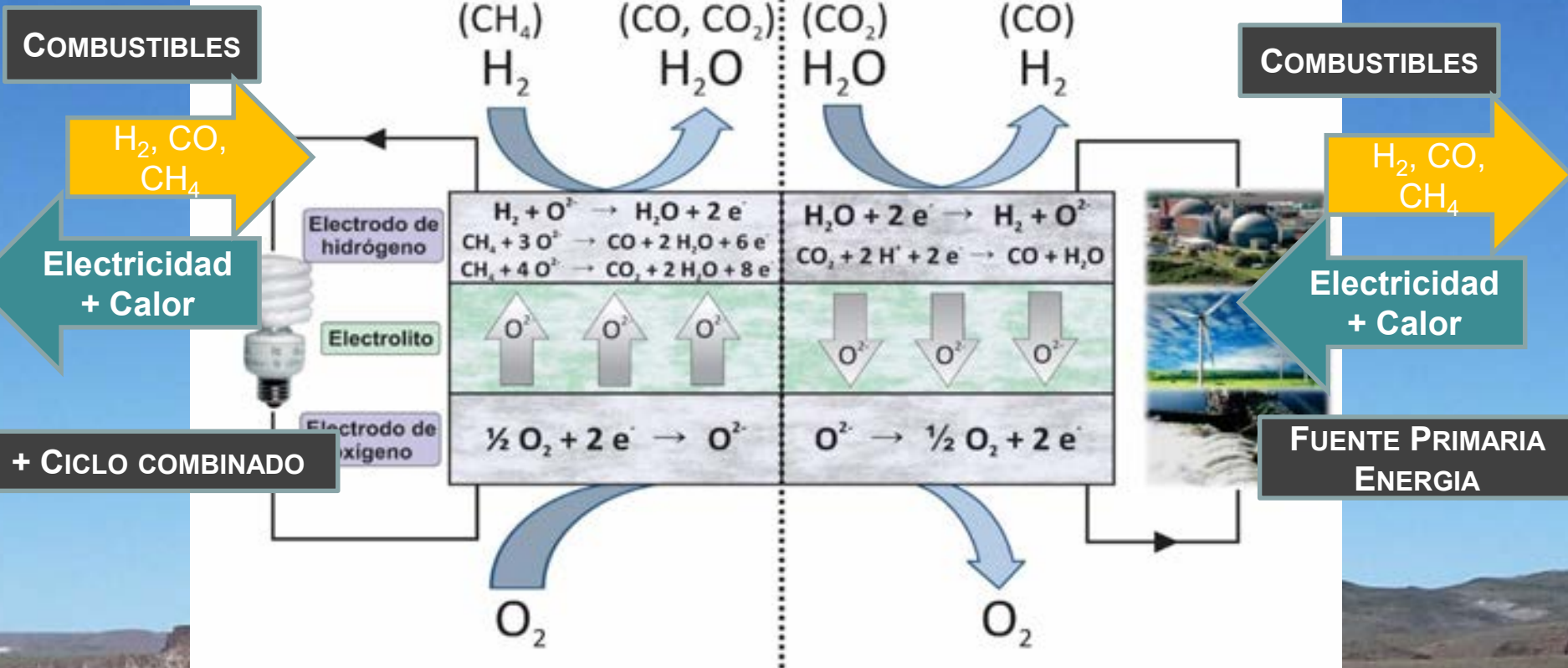


$$\Delta H_r = \Delta G + T\Delta S$$
$$\Delta G = -W_{elec} = -nFE^{th}$$

MODO Pila  
COMBUSTIBLE

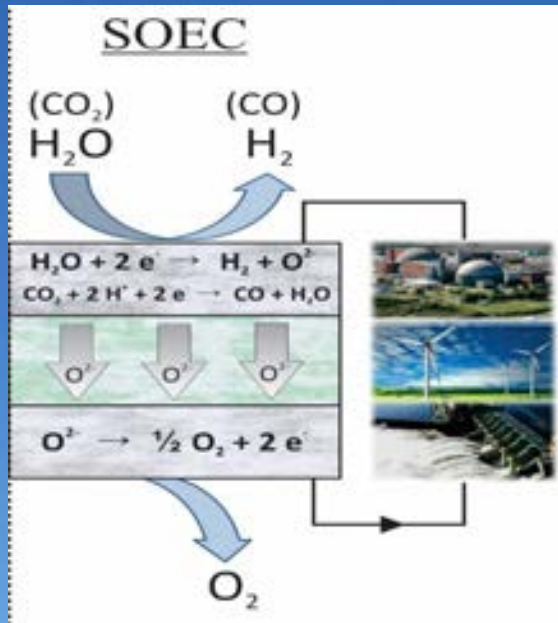
MATERIA PRIMA: H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>,  
hidrocarburos

MODO  
ELECTROLIZADOR



# Almacenamiento de energía

Fuentes primarias: renovables/nuclear



Solar: San Juan



Eólica: Chubut

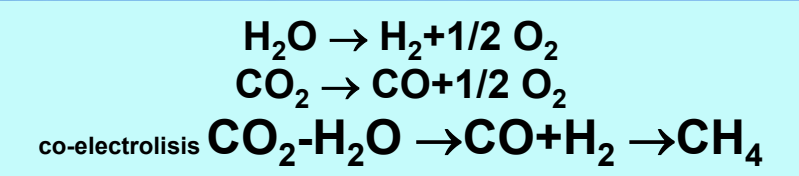


Nuclear: Atucha II, III y...

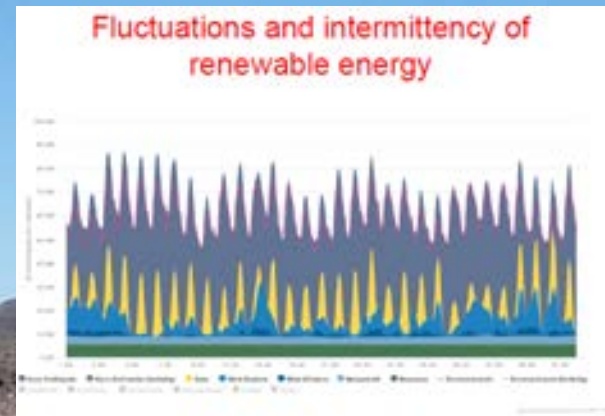
Química

Hidrógeno (H<sub>2</sub>)

Metano (CH<sub>4</sub>)

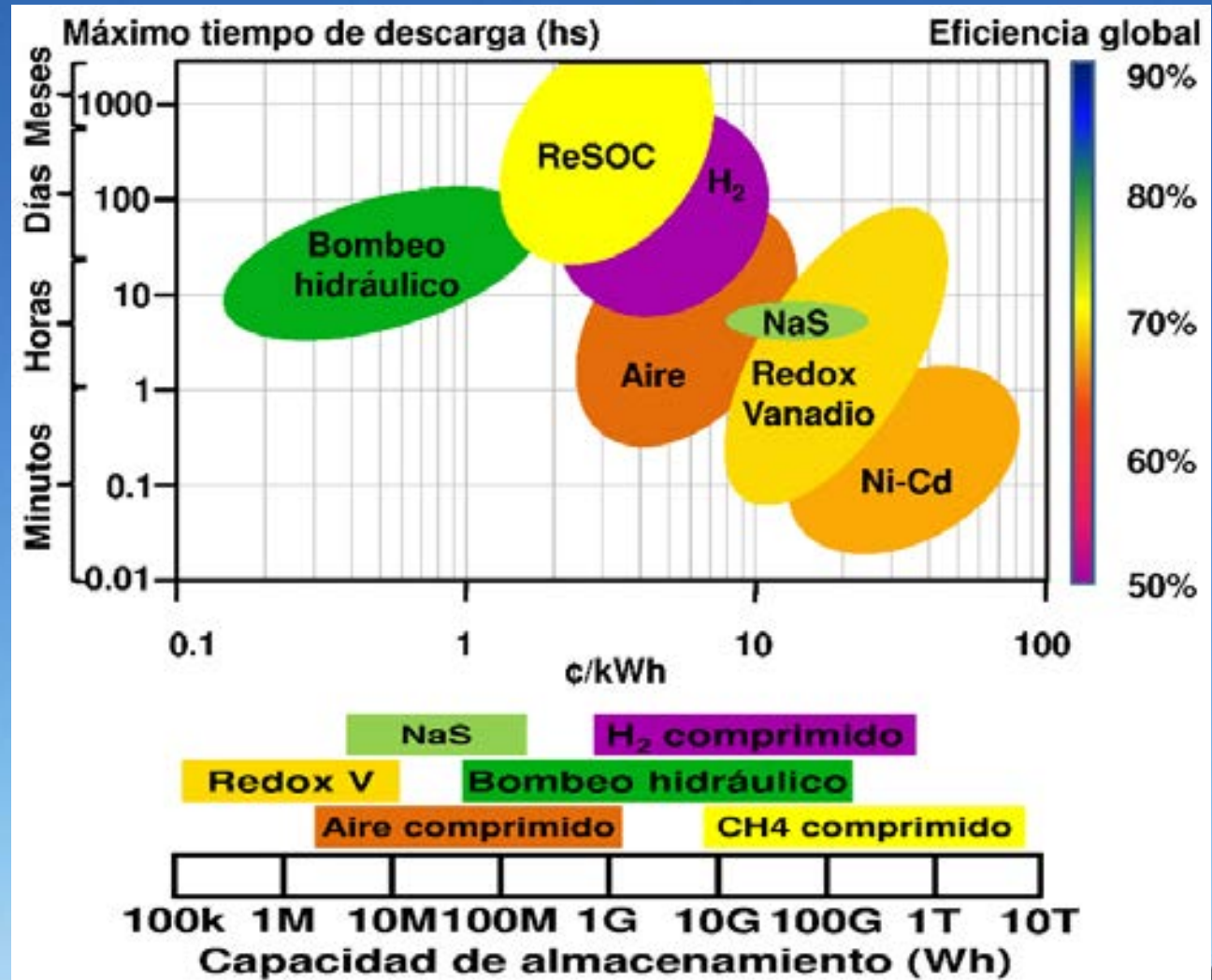


Potencial de las SOEC: Modo electrólisis a alta temperatura Ej: Acoplamiento Reactor Nuclear-HTSE



# Almacenamiento de energía

Comparación  
distintos  
sistemas de  
almacenamiento de energía  
utilizados para  
realizar  
balances de  
potencia  
intermitentes



S. H. Jensen et al. Energy Environ. Sci., (2015) 8, 2471-2479.

Z. Yang et al. Chem Rev, 111 (2011) 3577-3613.

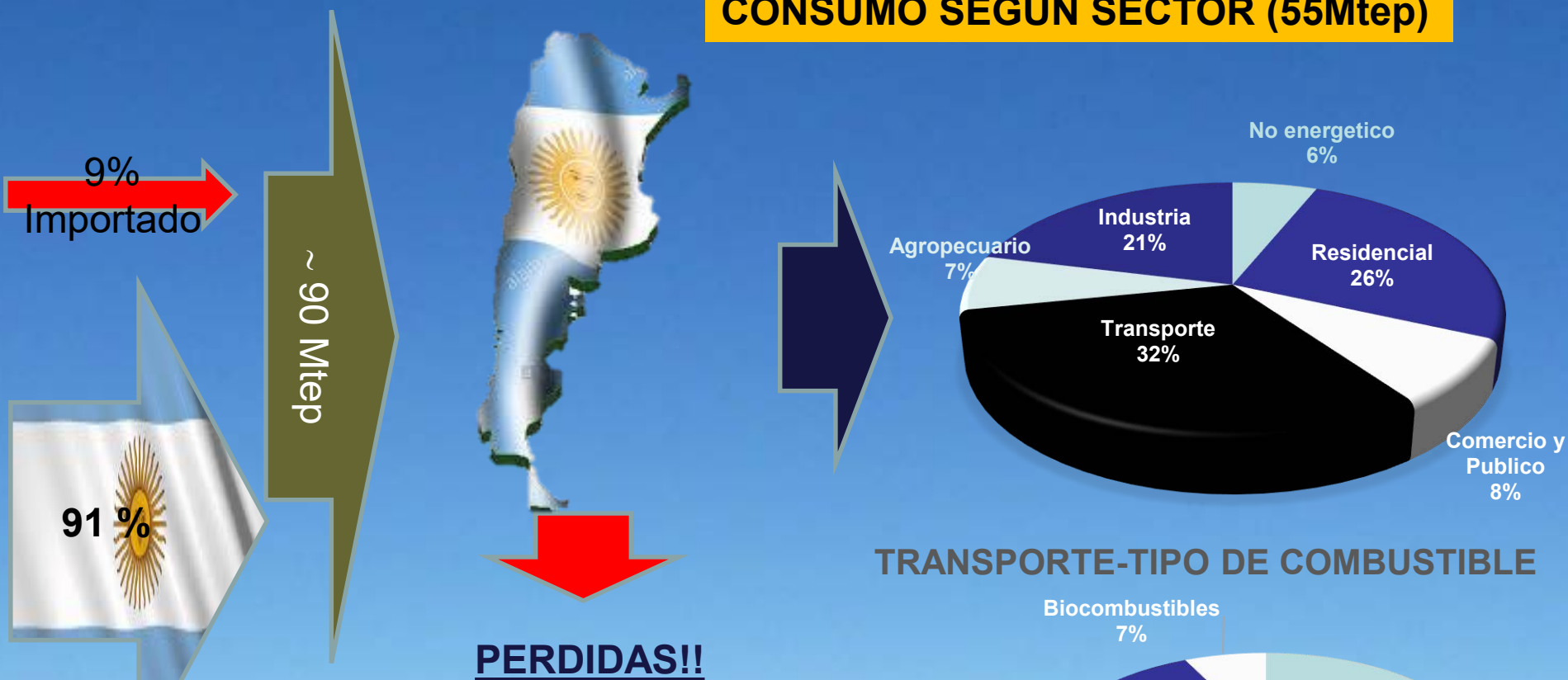
A. Poullikkas, Ren. and Sust. Energy Reviews, 27 (2013) 778-788.

# POTENCIALES Y DESAFÍOS AUTOMOTRIZ

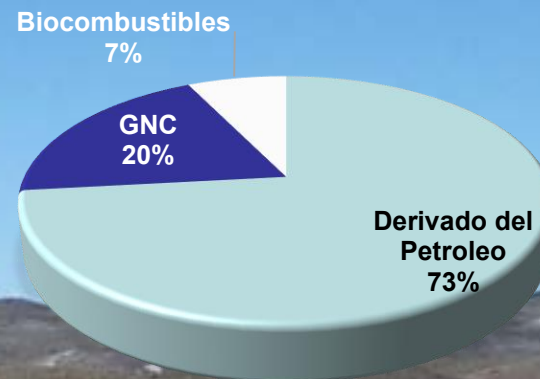


# Balance Energético Nacional-2017

## CONSUMO SEGÚN SECTOR (55Mtep)



## TRANSPORTE-TIPO DE COMBUSTIBLE



**CONSUMO SECTOR TRANSPORTE ~ 17,5 Mtep\***  
**Movilidad = Transporte + Agro ~ 40% (21 Mtep)**

\* Equivale al 1,4% del consumo Mundial [www.iea.org](http://www.iea.org)

# Liga Bioenergética

Misión Institucional y Empresaria –Brasil 18 al 21 Marzo 2019

Piracicaba Technology Park

Plinio Nastari - Datagro

Ricardo Abreu. SINDIPEÇAS

Flavio Castellari. Arreglo Productivo local del Alcohol de Brasil (APLA).

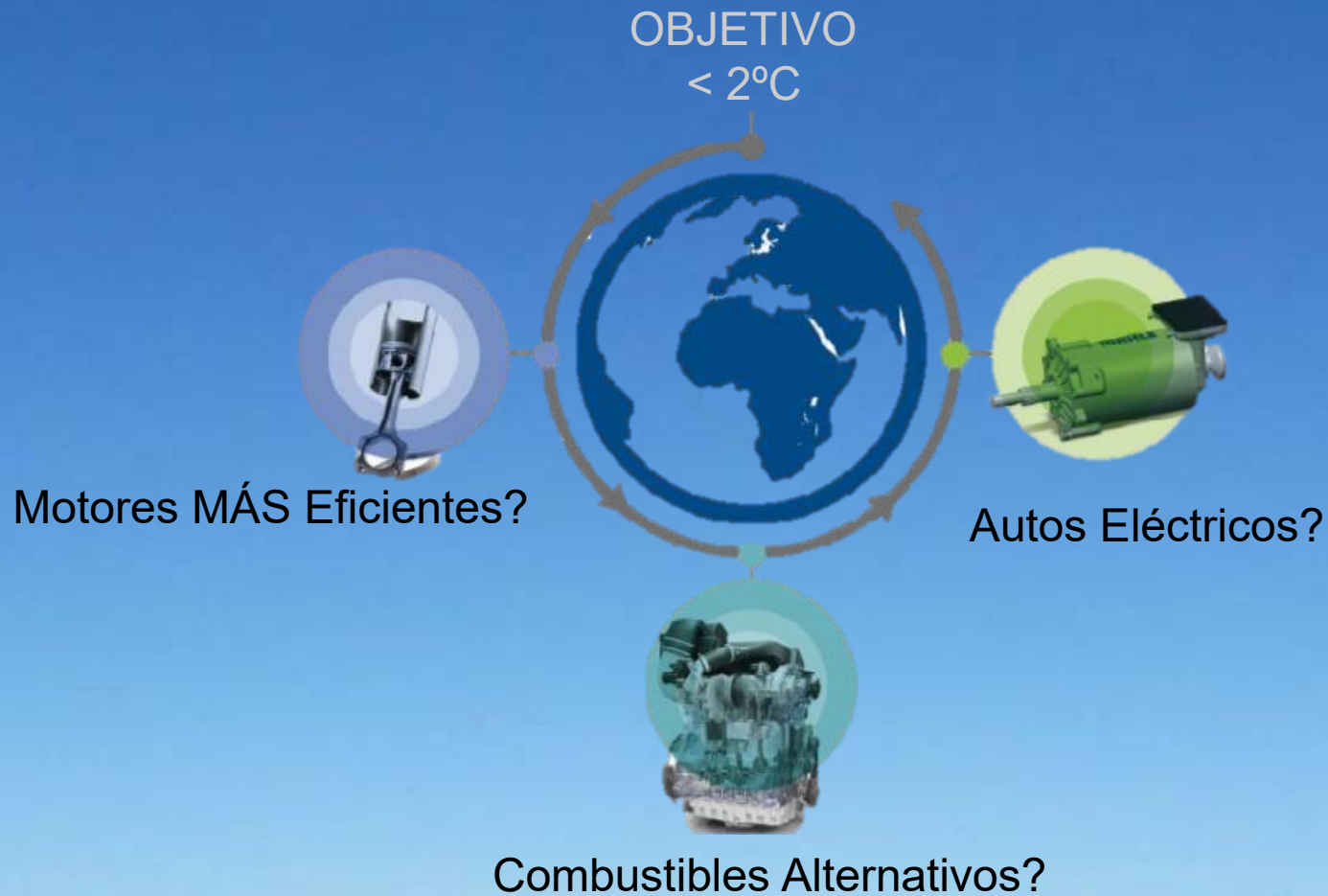


AVL Sudamérica

Coalición Under2 /  
Secretaría de Infraestructura y  
Medio Ambiente - San Pablo

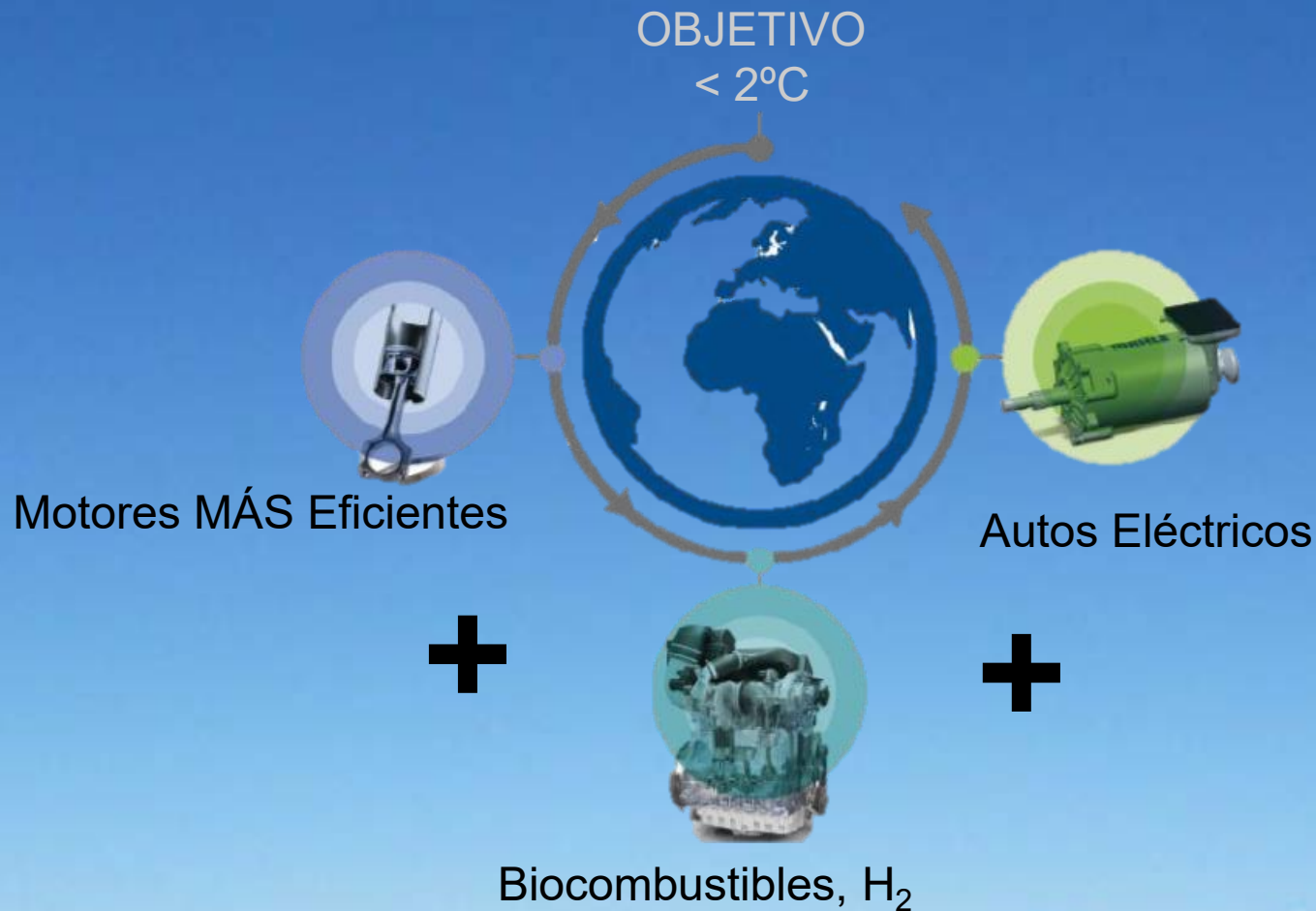


# Soluciones?





# Soluciones?

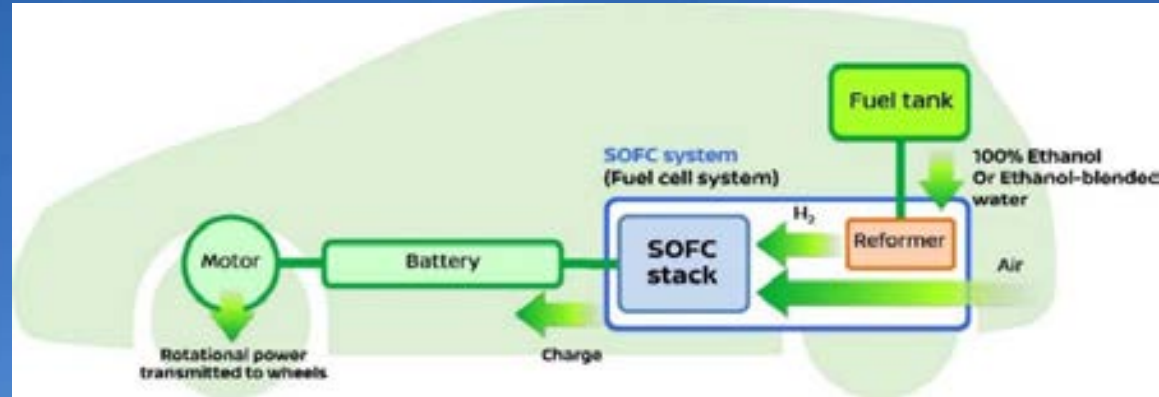


**Vehículos Híbridos**

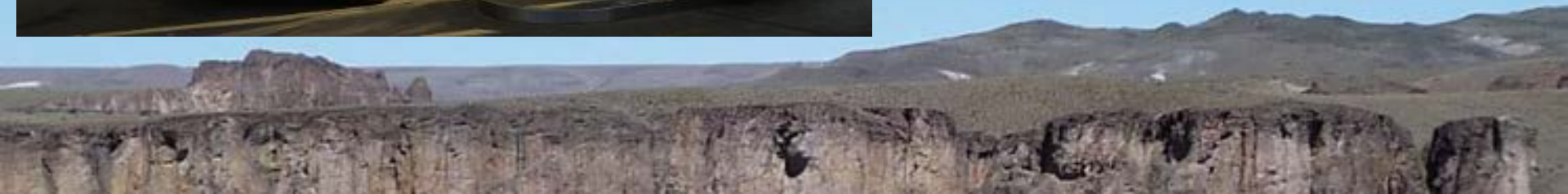
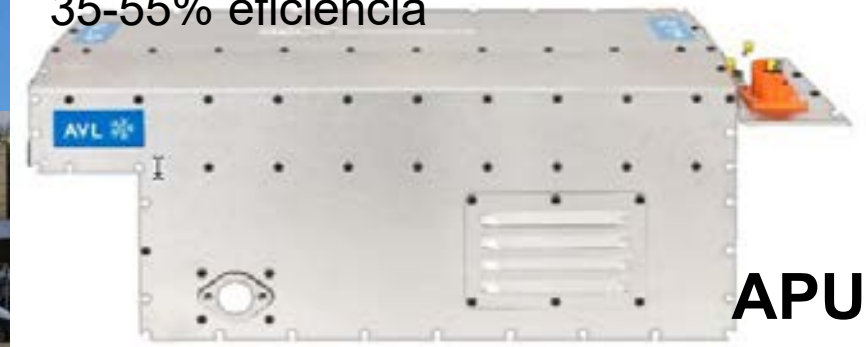
# SOFC – Transporte-Auxiliar Power Unit

## E-Bio Fuel Cell , NISSAN Ceres Power

- Tanque 30 L-Bioetanol
- Range extender (APU) 5 kW SOFC
- Banco de Baterías
- Autonomía > 600 km



35-55% eficiencia



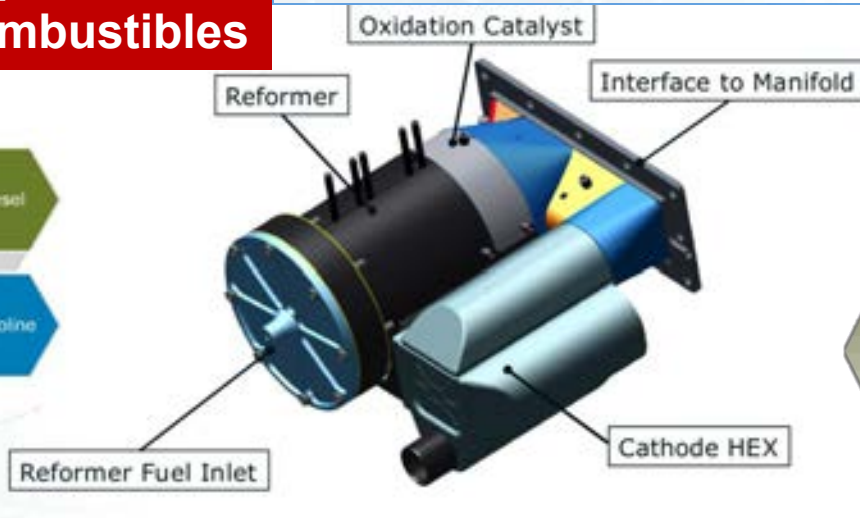
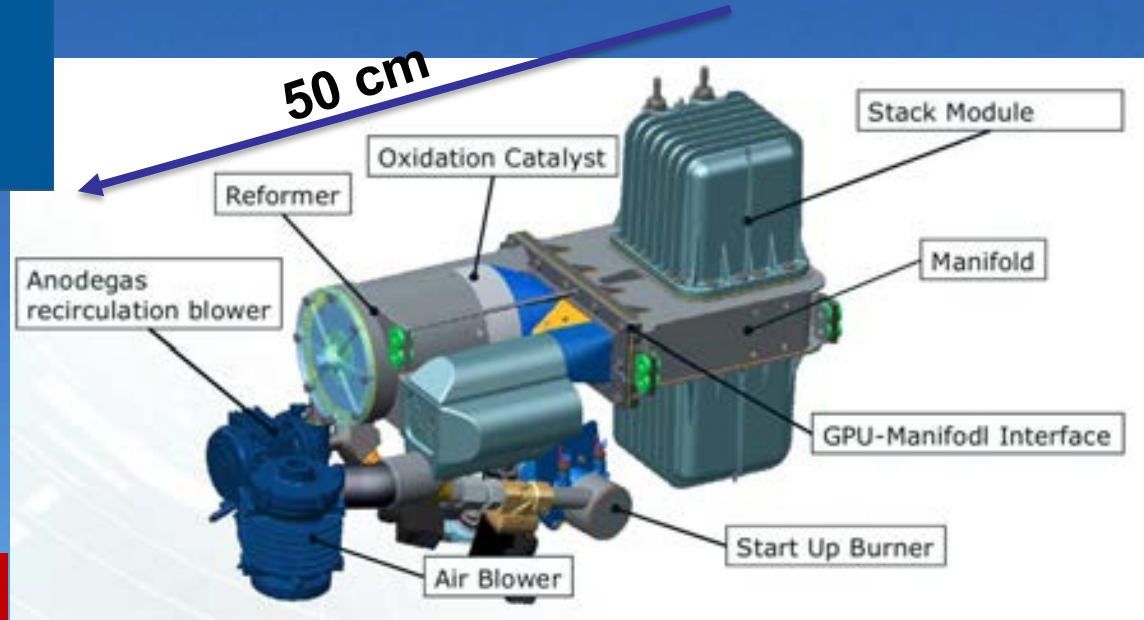
# Aplicaciones SOFC – Transporte-Auxiliar Power Unit

AVL



SOFC-APU/Ranger  
extender 3-30 kW

Sistema adaptable  
múltiples combustibles

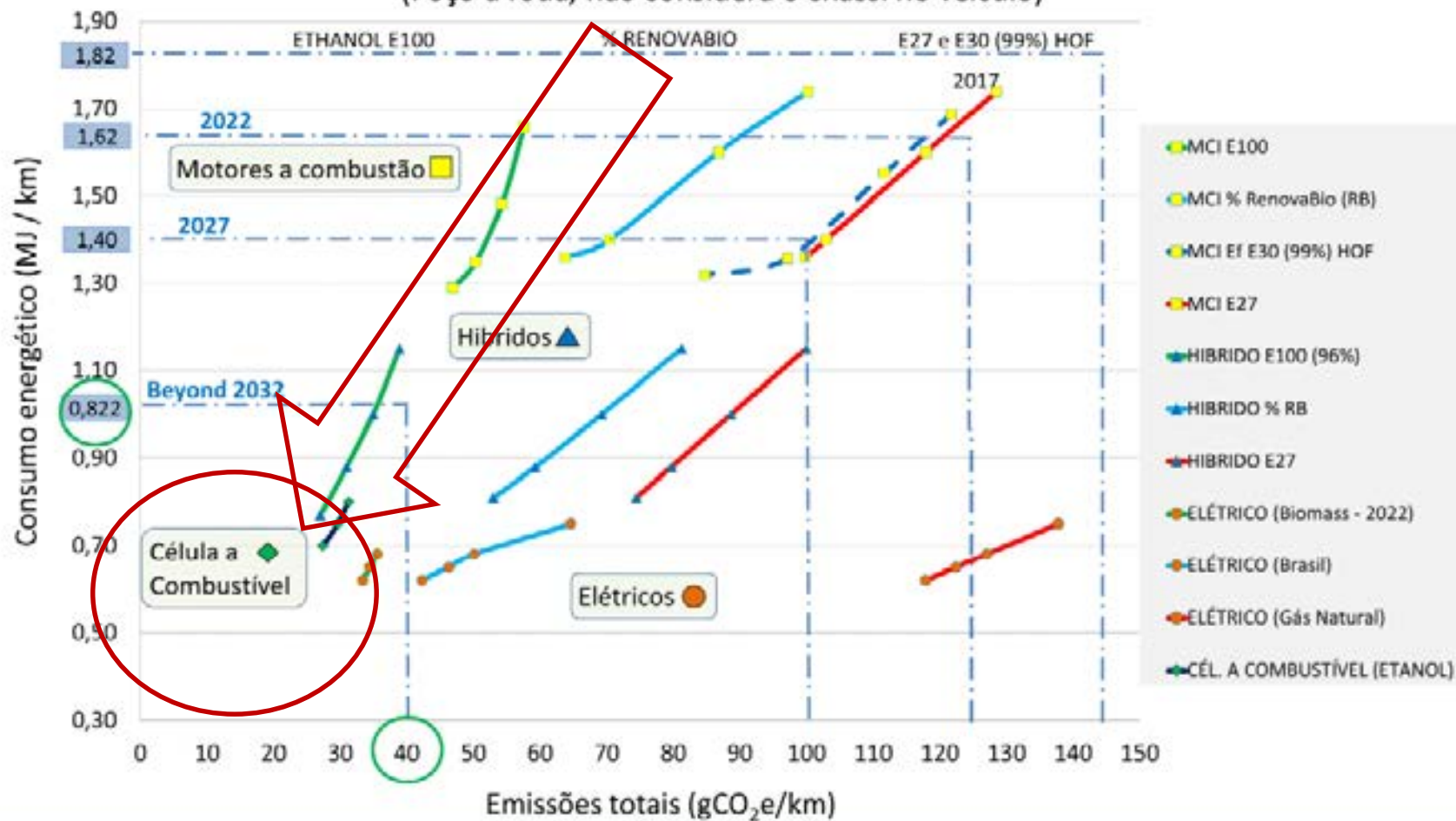


Two hexagonal panels comparing the efficiency of a 3 kW APU. The top panel shows a yellow Volvo truck with a 3 kW APU and a 'DIESEL' label, with 'Efficiency: 35%' written below. The bottom panel shows a military vehicle with a 3 kW APU and a 'DIESEL' label, also with 'Efficiency: 35%' written below.

# GEE DO CICLO DE VIDA DO VEÍCULO NO BRASIL

## Emissões totais GEE

(Poço a roda; não considera o chassi no veículo)



EN ARGENTINA

# **PROYECTO PROTOTIPO SOFC SANTA FE**



# Proyecto Prototipo SOFC Santa Fe

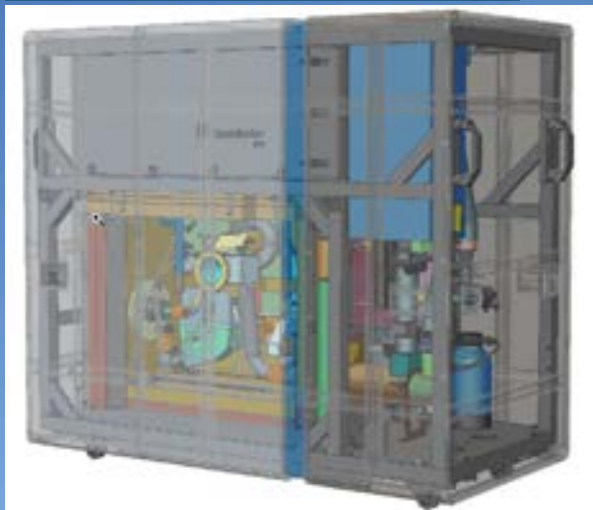
AVL



Desarrolla y transfiere PROTOTIPOS que se ajustan al cliente

**SOFC+CHP-5kW**

**SOFC+CCHP-6kW**



Sistema pretratamiento de combustible: reformador+gas cleaning  
Biogas, Bioetanol, GN, Biodiesel

Absorption Heat Pump



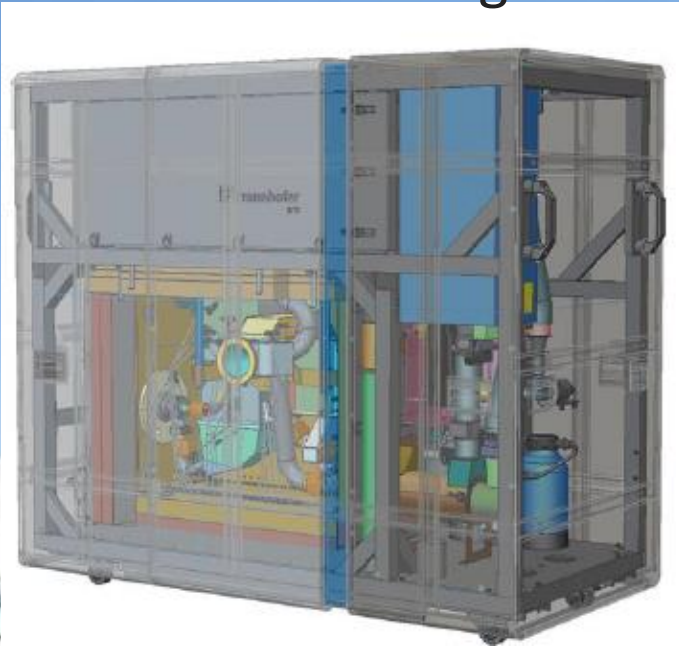
Subsecretaría de Energías Renovables  
Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la Provincia de Santa Fe



# Proyecto Prototipo SOFC Santa Fe

## OBJETIVO

Analizar y desarrollar la tecnología SOFC en la provincia de Santa Fe mediante el estudio de un prototipo de celda de combustible SOFC CHP de 5 kW bioetanol, con sus memorias de cálculo y desarrollo de ingeniería. (TRL6→TRL7)



**Generador estacionario SOFC-CHP  
~ 5 kWel (~5 kWth)  
Alimentado con BIOETANOL**

**Instalación Febrero 2021  
en INCAPE – CONICET  
Dr. Ulises Sedrán- Dr. Raul Comelli**

# Proyecto Prototipo SOFC Santa Fe

## Articulación



Thomas Hirschberger  
Christopher Sallai



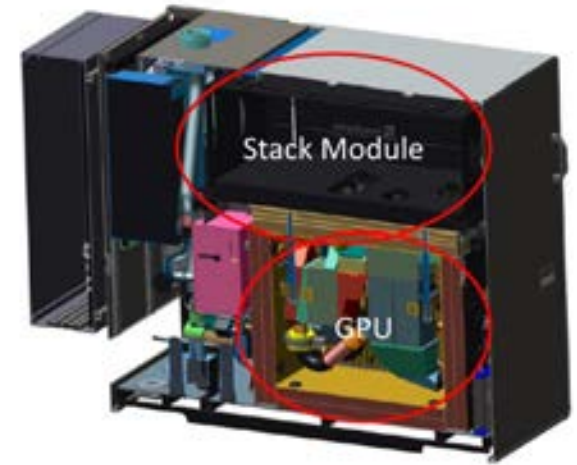
Erich Schneider



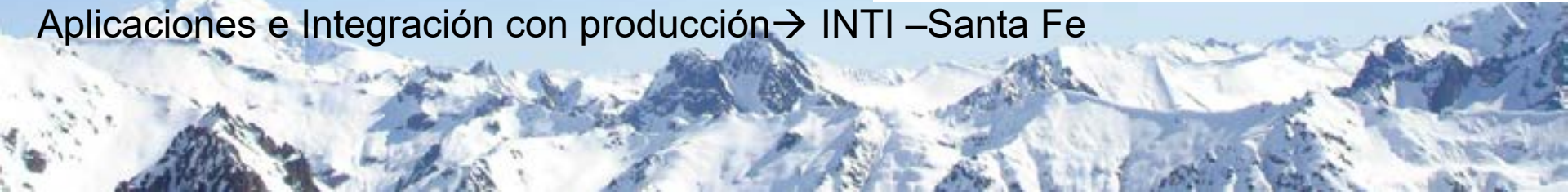
Dr. Ulises Sedrán- Dr. Raul Comelli

GPU: Gas Process Unit  
→ INCAPE (Etanol y Glicerol)

Stack Module → **NOSOTROS**



Aplicaciones e Integración con producción → INTI –Santa Fe





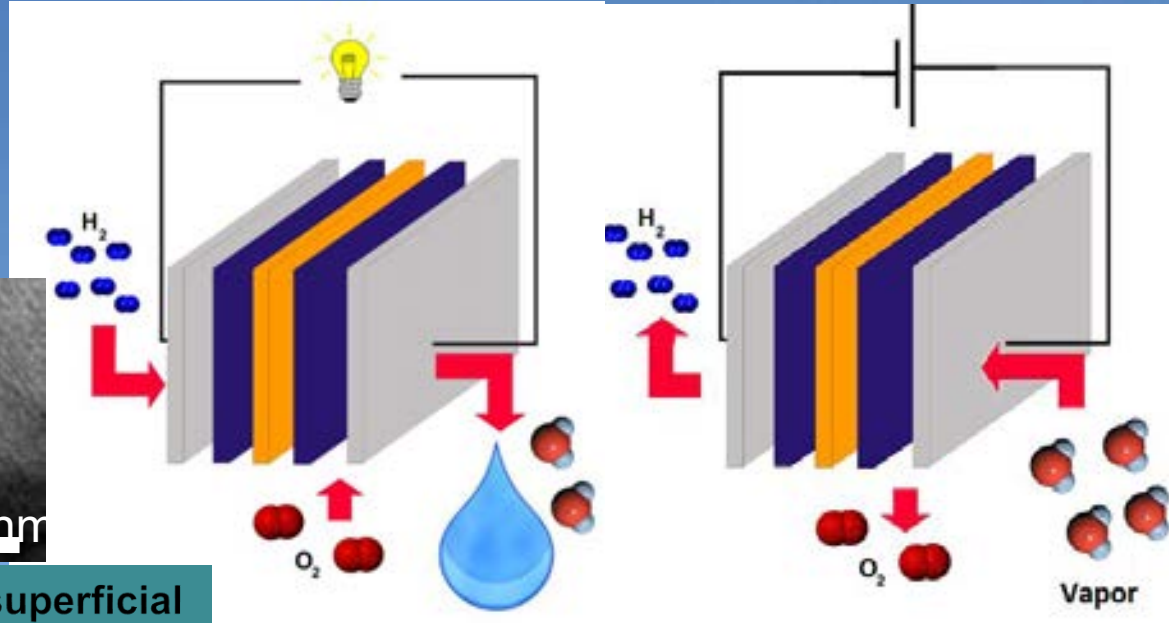
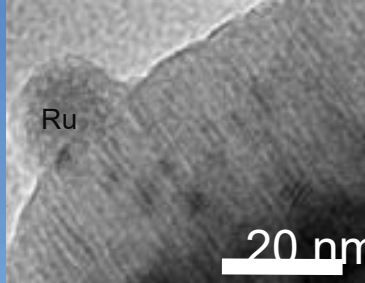
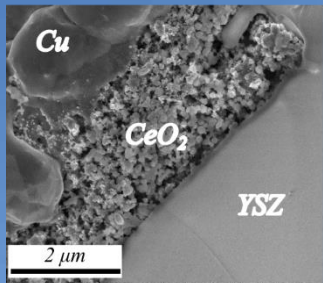
# **DESAFIOS I+D+i**

Ciencia e Ingeniería de Materiales



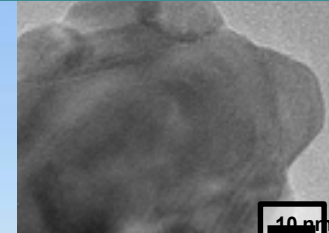
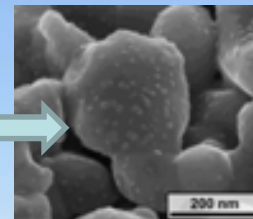
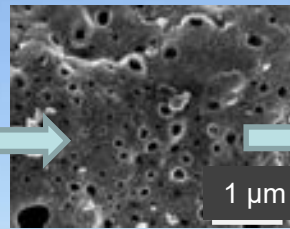
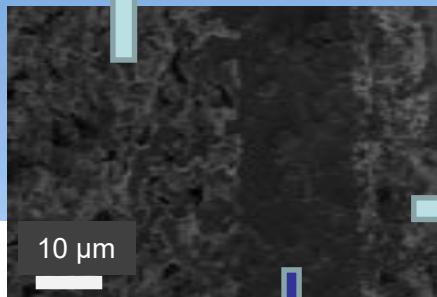
# I+D+i Pilas SOFC ARGENTINA

Material para celdas de combustible y electrolizadores de óxido sólido (SOEC-SOFC)

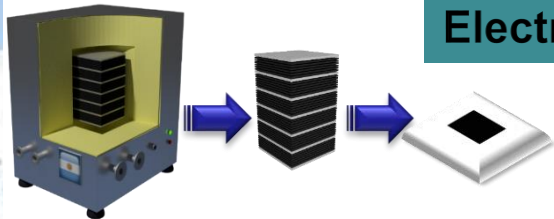


Me/óxido u óxido nanodecorado superficial  
Ánodo compuesto

Cátodo poroso-nanométrico-decorado superficial



Electrolito óxido cerámico denso



\$Stack ~20% \$Generador



# Escalado desde el laboratorio



Ensamblas ánodo/electrolito/cátodo  $\varnothing < 1''$



# Equipo (PDTs)

**Institución Beneficiaria: CNEA**

Departamento Caracterización de Materiales (GIA-GAATN-INN):

L. Mogni; A.Serquis; M. Arce; L. Baque; A. Montenegro; C. Chanquia; H. Troinai; F. Napolitano; J. Basbus

L. Toscani; M. Santaya; J. Ascolani; Y. Mansilla; S. Cuello; E. Taragarelli



Departamento de Investigación en Sólidos (DEINSO-CITEDEF):

S. Larrondo; C. Martinez Setevich

M.R. Suarez Anzorena



Departamento de Física –Universidad Nacional del Sur-IFISUR/CONICET:

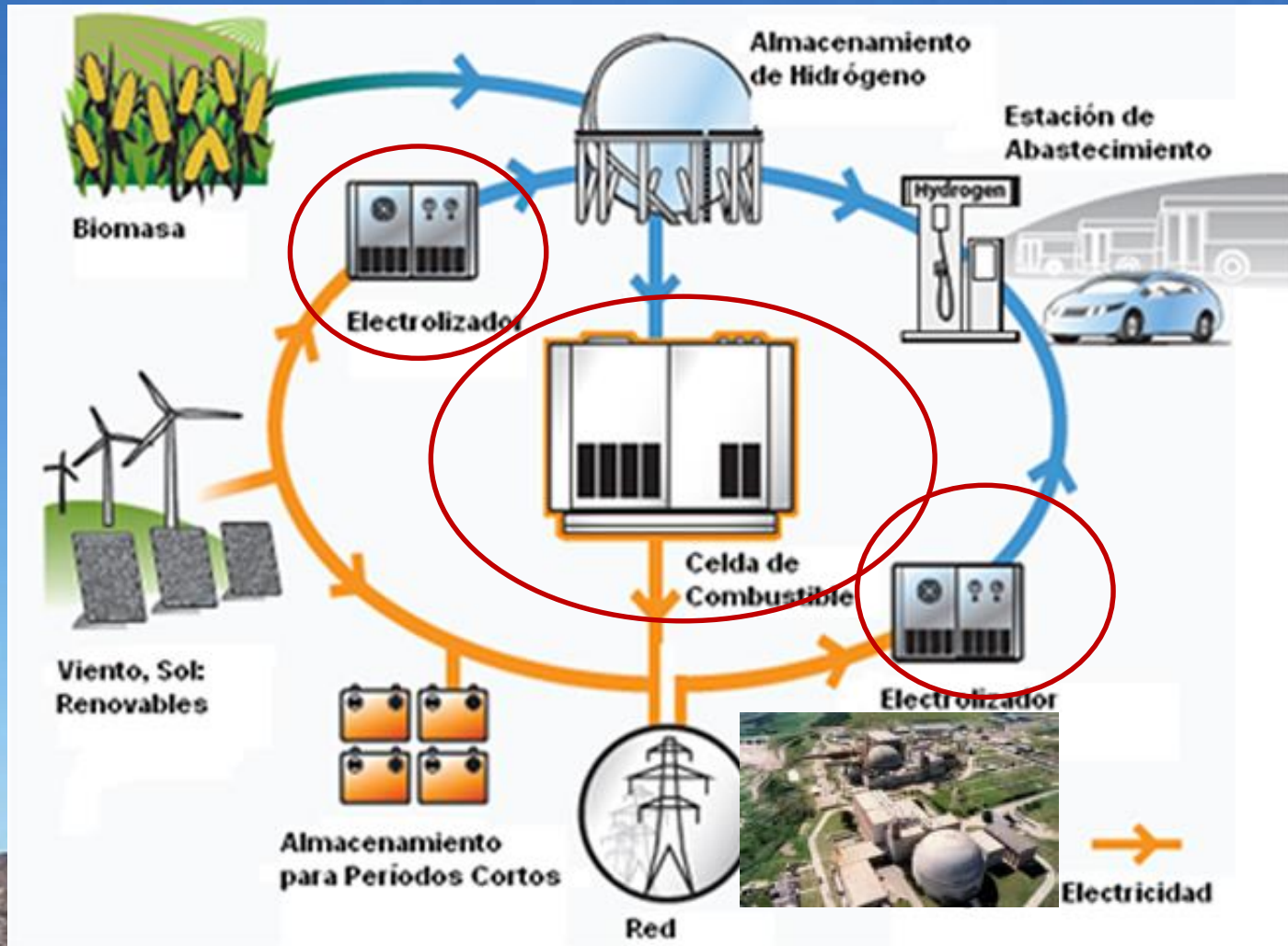
F. Prado; J. Vega Castillo; M.G. Zimicz



Otros: A. Caneiro (YTEC); F. Aristimuño (UNRN); D. Lamas (UNSAM)



# LAS PILAS DE COMBUSTIBLE SOFC en el contexto energético



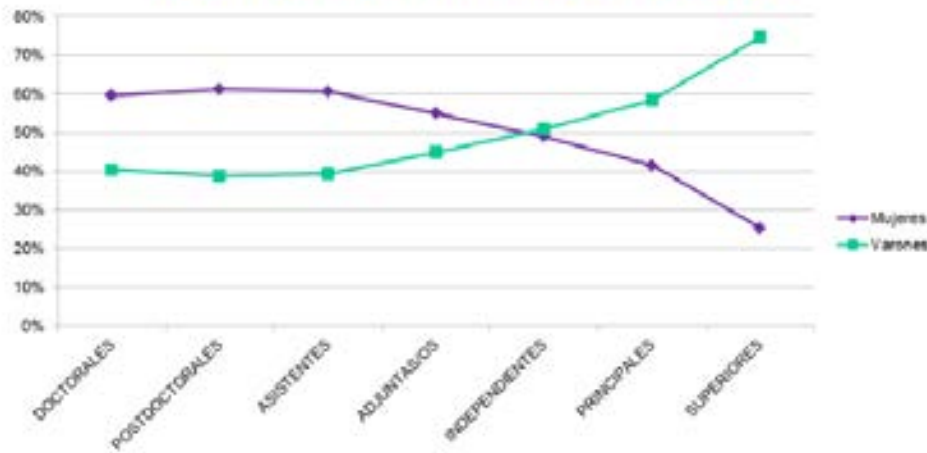
# Mujeres en ciencia y tecnología: hacia una participación con equidad

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 14 de septiembre de 2018

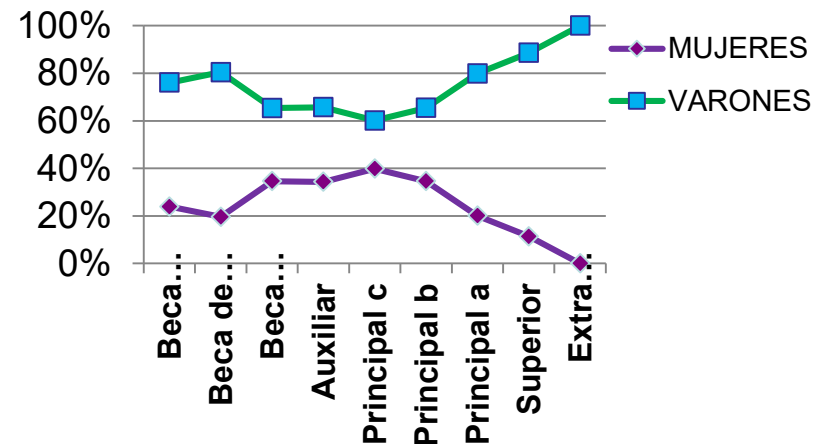
Ministerio de Educación,  
Cultura, Ciencia y Tecnología  
Presidencia de la Nación

En Argentina, las mujeres tienen una muy baja representación en los puestos de mayor responsabilidad e incidencia en la toma de decisiones de los ámbitos académico y científico tecnológico.

### Investigadoras/es y becarias/os del CONICET por categoría profesional según sexo, 2017



### Investigadoras/es, técnicos y becarias/os de CNEA por categoría profesional según sexo, 2018



# Gracias

(aserquis@cab.cnea.gov.ar)



## AGRADECIMIENTOS

