

# Impulsando una transición energética sostenible: los electrolizadores de baja temperatura y sus materiales constructivos



# Temario

**01**

**Introducción**

**02**

**Generalidades**

**03**

**Materiales  
constructivos**

**04**

**Vida útil**

**05**

**Desafíos**

**06**

**Agradecimientos**

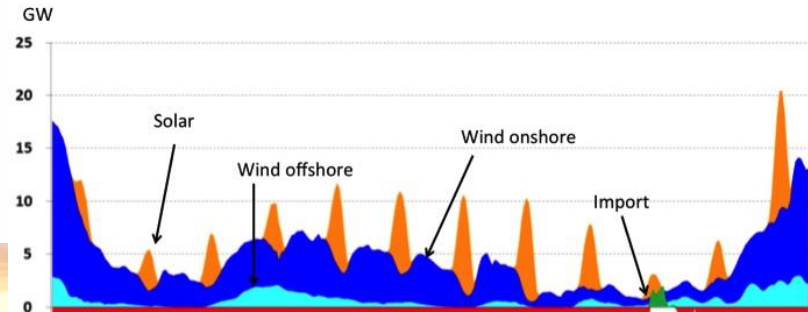




# Introduction

Energías renovables  
Tecnologías Power to "X"

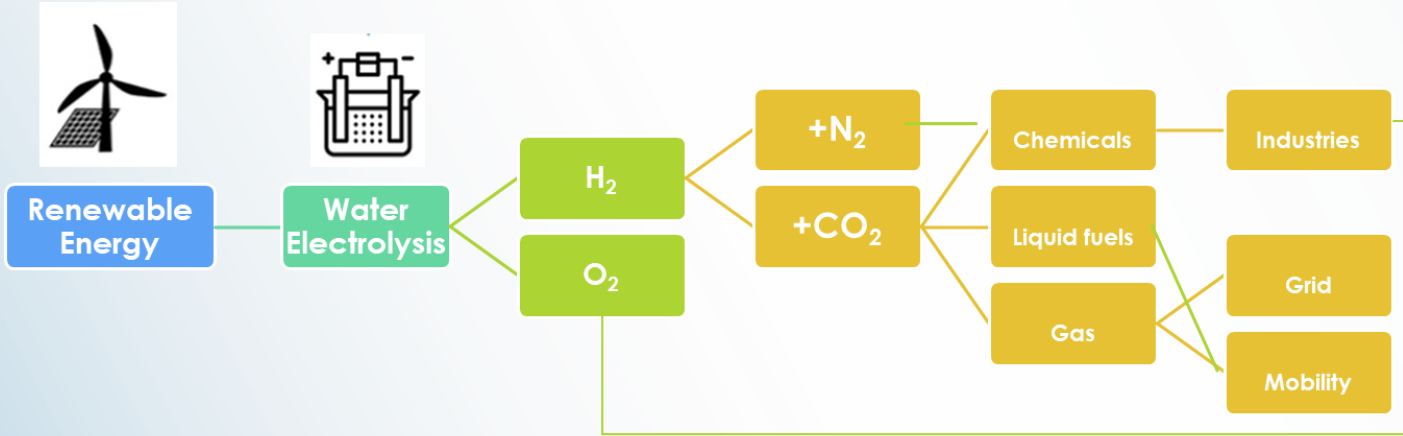
# Energías Renovables



<https://www.wind-watch.org/documents/hidden-consequences-of-intermittent-electricity-production/>

<https://unsplash.com/es/s/fotos/renewable-energy>

# Tecnologías Power to X



storage



industry



buildings



transport

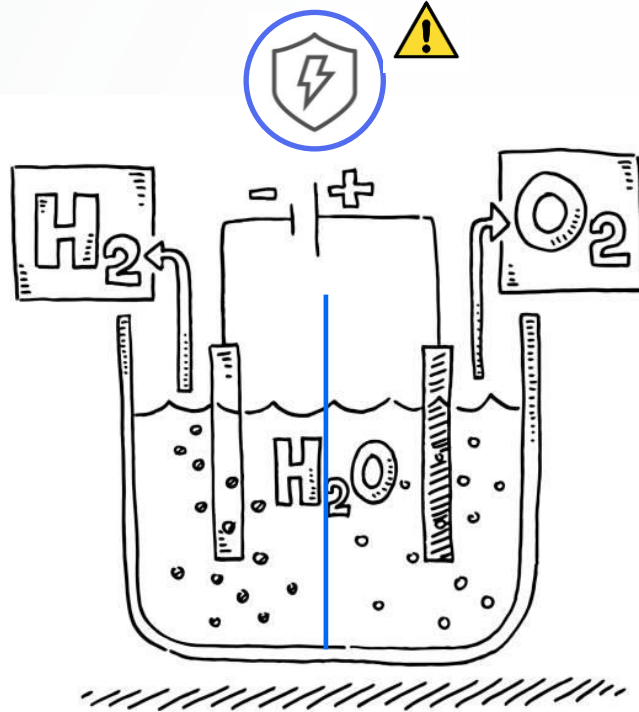


Schematic representation of "power to X" conversion pathways

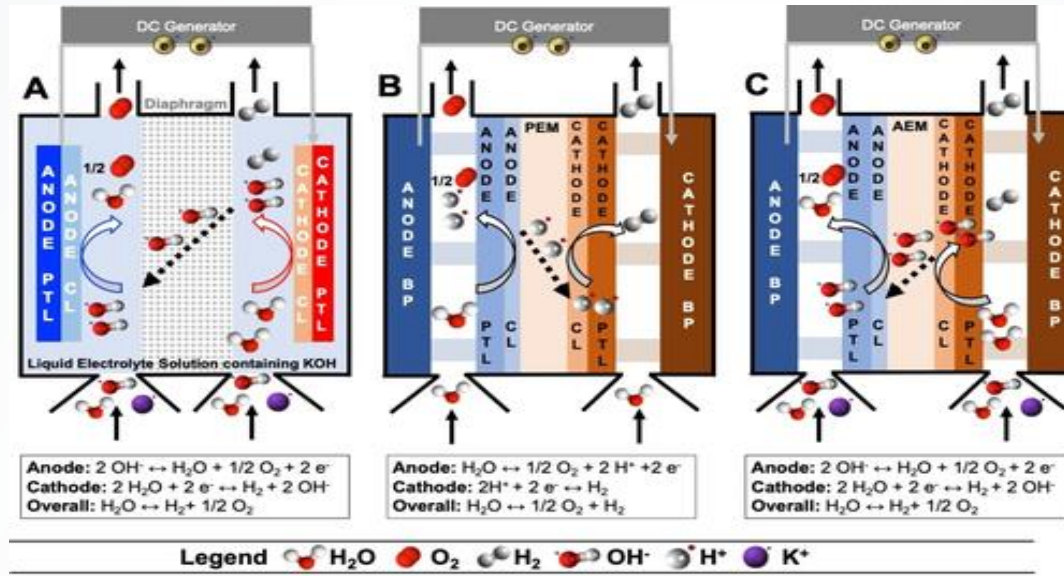
Recent development in Power-to-X: Part I - A review on techno-economic analysis Ahmed Rufai Dahiru, Ari Vuokila, Mika Huuhtanen (2022) Journal of Energy Storage 56.

<http://power-to-x-energy-of-the-future/>

# Electrólisis



# Tecnologías de electrólisis de baja temperatura



Electrólisis de agua: A) Alcalina; B) Membrana de electrolito polimérico y C) Membrana de intercambio de aniones.

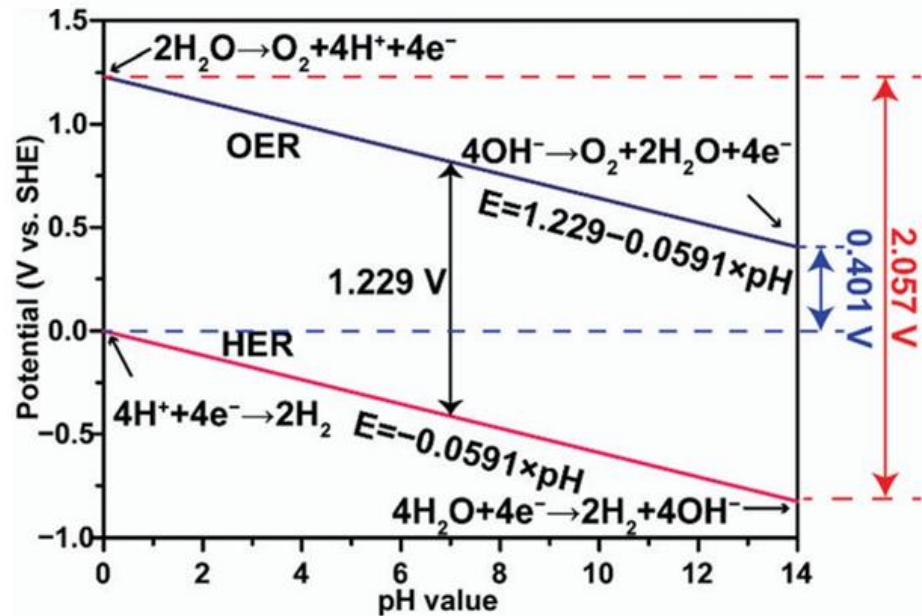
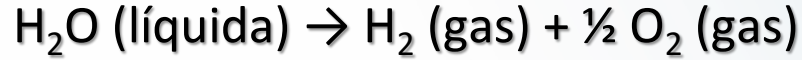
# Generalidades

Hemireacciones  
Potenciales  
Sobrepotenciales





# Descomposición electroquímica del agua

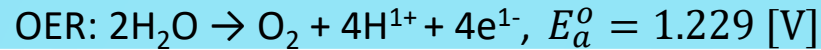
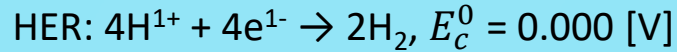


Potenciales termodinámicos de la reacción de evolución de hidrógeno (HER) y de oxígeno (OER) en electrolitos acuosos con diferentes valores de pH bajo condiciones estándar



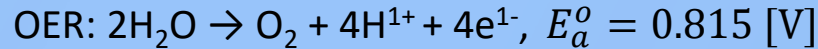
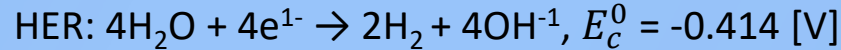
# Condiciones estándar: 298.15 K, 1 atm

## Electrolitos ácidos



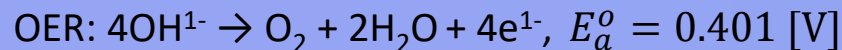
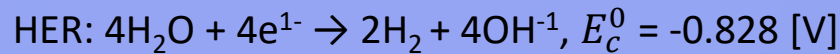
**pH = 0**

## Electrolitos neutros



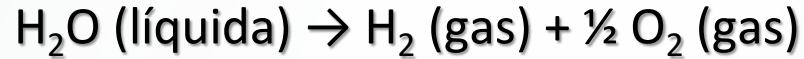
**pH = 7**

## Electrolitos alcalinos



**pH = 14**

# Descomposición del agua

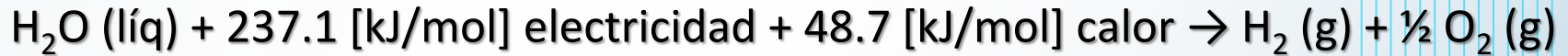


$$\Delta H^0 = \Delta G^0 + T\Delta S^0$$

↓                      ↓                      ↓

285.8	237.1	48.7
[kJ/mol]	[kJ/mol]	[kJ/mol]

Condiciones Estándar  
(298,15 K, 1 atm)

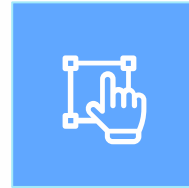


# Potencial: termodinámico reversible, termoneutral



$E_{RE}$

$$E_{RE} = - \frac{\Delta G^0}{nF} = 1.23 \text{ [V]}$$



$E_{TN}$

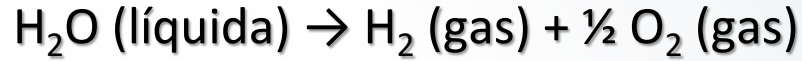
$$E_{TN} = - \frac{\Delta H^0}{nF} = 1.48 \text{ [V]}$$

$$n = 2$$

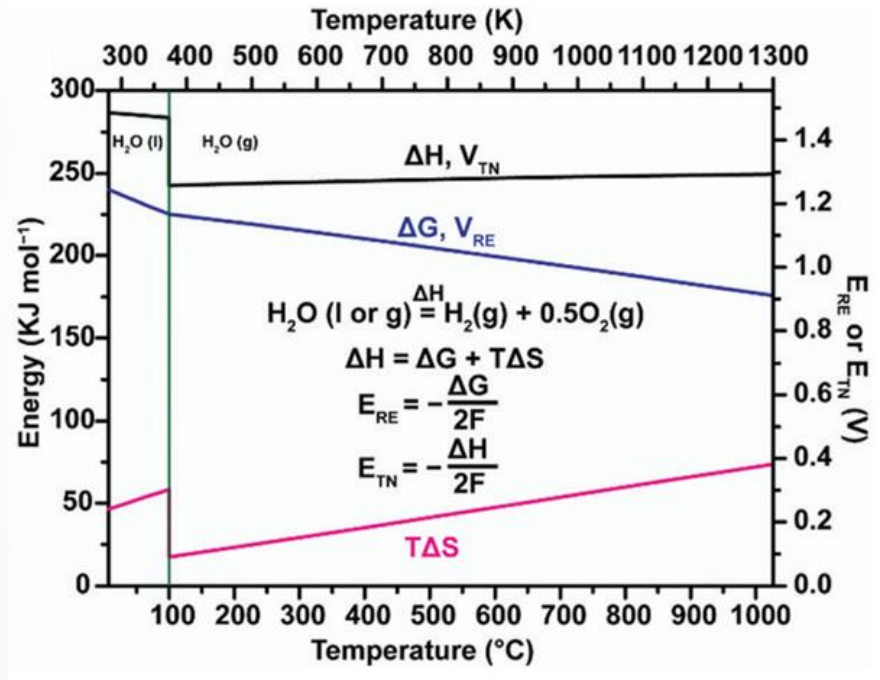
$$F = 96\,485 \text{ [C/mol]}$$



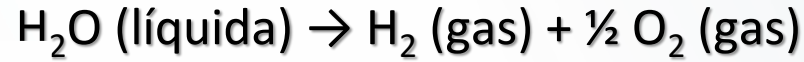
# Descomposición electroquímica del agua



Termodinámica de la separación del agua en función de la temperatura a 0,1 MPa.



# Descomposición electroquímica del agua



$$\Delta G^0 = -nFE_{RE}$$

$$n = 2$$

$$F = 96\,485 \text{ [C/mol]}$$

$$E_{RE} = E_{OER}^0 - E_{HER}^0$$

$E_{eq}$  se determina  $E_{cel}$

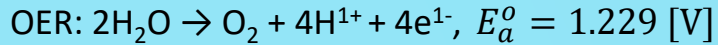
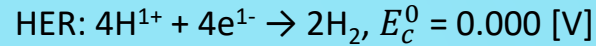
$$E_{cel} > E_{eq}$$

# Descomposición electroquímica del agua

$$\eta_{OER} = E_{OER} - E_{eq,OER}$$

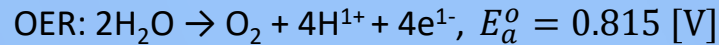
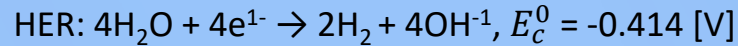
$$\eta_{HER} = E_{HER} - E_{eq,HER}$$

$$\eta_{OER} > \eta_{HER}$$



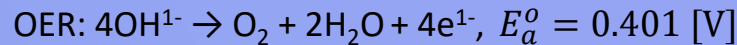
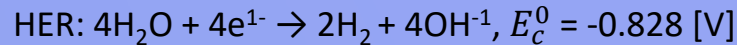
**pH = 0**

$$\eta_{OER}, \eta_{HER}$$



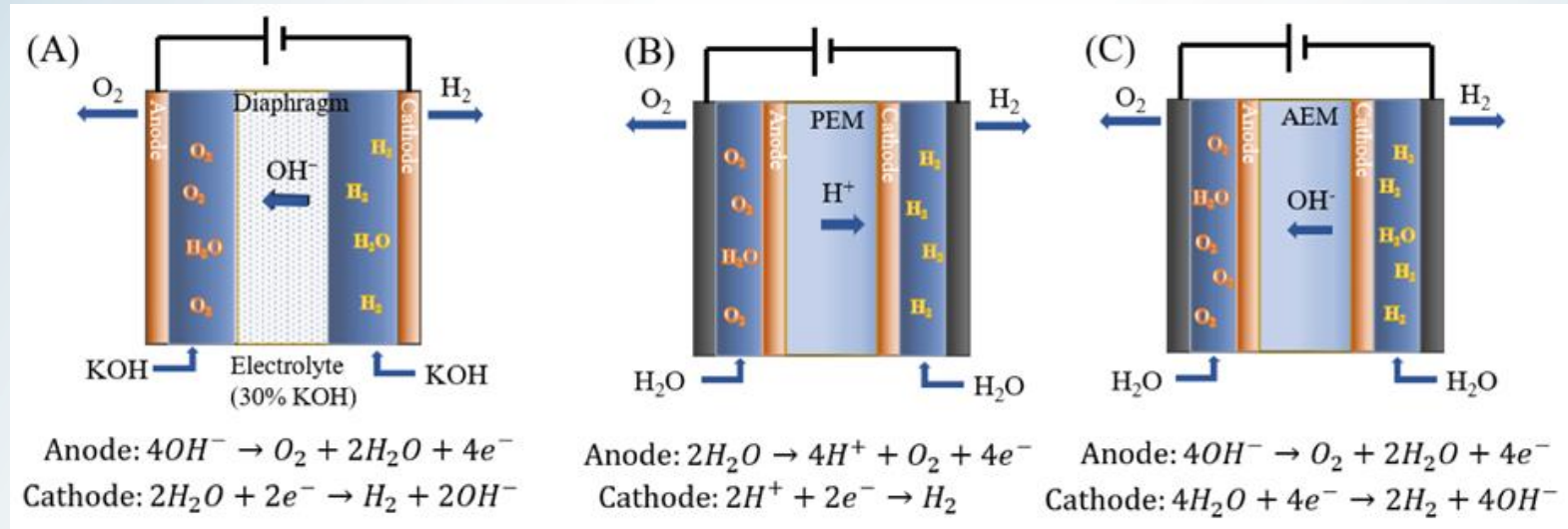
**pH = 7**

$$\eta_{HER} > \eta_{OER}$$



**pH = 14**

# Descomposición electroquímica del agua



Diagramas esquemáticos de celdas de electrólisis: a) AWE, b) AEM y c) PEM

<https://doi.org/10.3390/membranes14040085>





# Material para su construcción

## Material Crítico

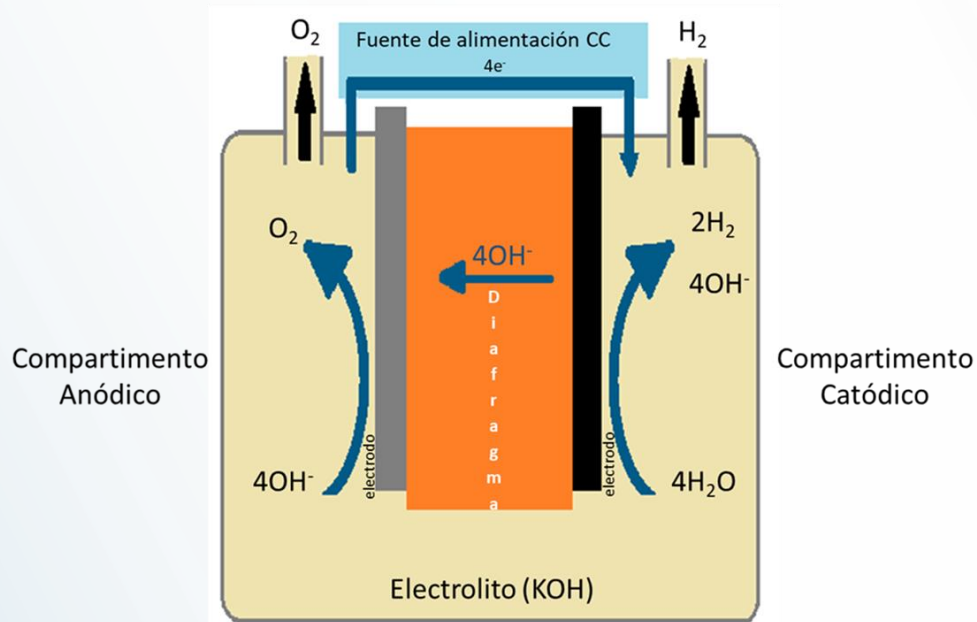
# Comparación de las tecnologías de electrólisis de agua de baja temperatura en cuanto a materiales

DVB = divinilbenceno  
 EPDM = etileno-propileno-dieno-metileno  
 ETFE = etileno tetrafluoroetileno  
 PFSA = ácido perfluorosulfónico  
 PPS = polifenileno  
 PSU = polisulfona  
 PTFE = politetrafluoroetileno

Tipo de electrolizador	Alcalino (AWE)	Membrana de electrolito polimérico (PEM)	Membrana de intercambio de aniones (AEM)
<b>Electrolito</b>	KOH	Membranas de PFSA	Polímero de DVB soportado con KOH o $\text{NaHCO}_3$
<b>Separador</b>	$\text{ZrO}_2$ estabilizado con PPS	Membranas de PFSA	Polímero de DVB soportado con KOH o $\text{NaHCO}_3$
<b>Ánodo/electrocatalizadores</b>	Acero inoxidable perforado niquelado	$\text{IrO}_2$	Ni o aleaciones de NiFeCo
<b>Cátodo/electrocatalizadores</b>	Acero inoxidable perforado niquelado	Nanopartículas de platino sobre negro de humo	Espuma de Ni
<b>Marcos y sellos</b>	PSU, PTFE, EPDM	PTFE, PSU, ETFE	PTFE, silicio

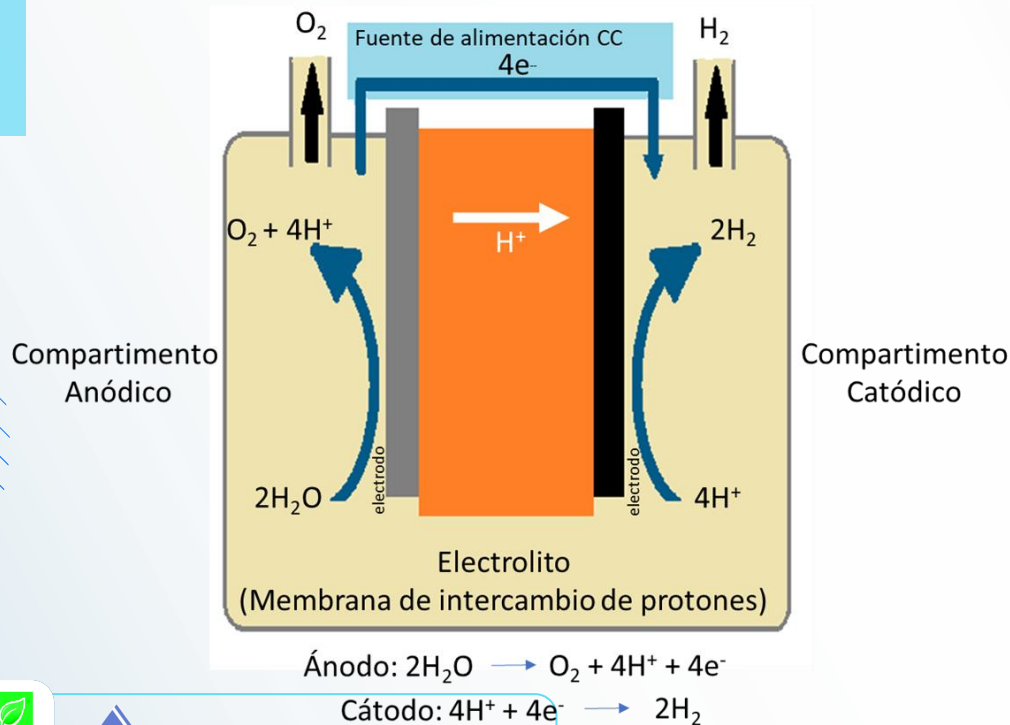


# Electrolizadores alcalinos



Electrolizador	Alcalino (AWE)
Separador	Dióxido de zirconio estabilizado con sulfuro de polifenileno (PPS)
Electrolito	Hidróxido de potasio
Electrodo/catalizador (ánodo)	Acero inoxidable perforado niquelado
Electrodo/catalizador (cátodo)	Acero inoxidable perforado niquelado

# Electrolizadores membrana de electrolito polimérico



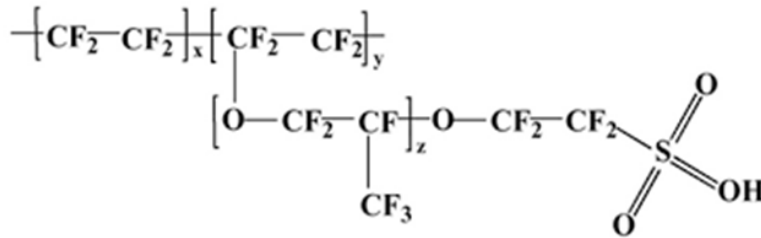
Electrolizador	Membrana de electrolito polimérico (PEM)
Separador	Electrolito sólido: membranas del ácido perfluorosulfónico (PFSA)
Electrolito	Membranas del ácido perfluorosulfónico (PFSA)
Electrodo/catalizador (ánodo)	Dióxido de iridio
Electrodo/catalizador (cátodo)	Nanopartículas de platino sobre negro de humo

# Electrolizadores membrana de electrolito polimérico



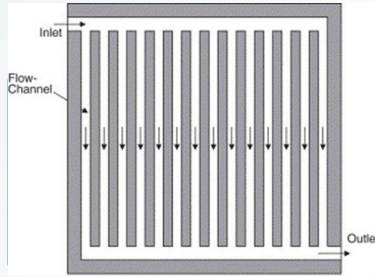
## Membranas conductora de protones

Fumapem®  
Flemion®  
Aciplex®



Estructura química del Nafion®

# Electrolizadores membrana de electrolito polimérico

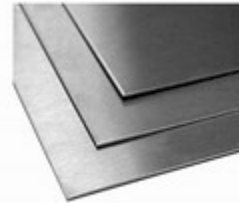


## Placas bipolares

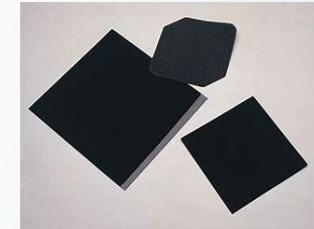


## Capa difusora de gases

### Titanio (Ti)



### Titanio (Ti)



### Grafito

# Electrolizadores membrana de electrolito polimérico

**Cátodo**

**Platino  
(Pt)**



**Ánodo**

**Rutenio  
(Ru)**

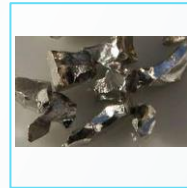


Promover la  
cinética de  
transferencia de  
carga

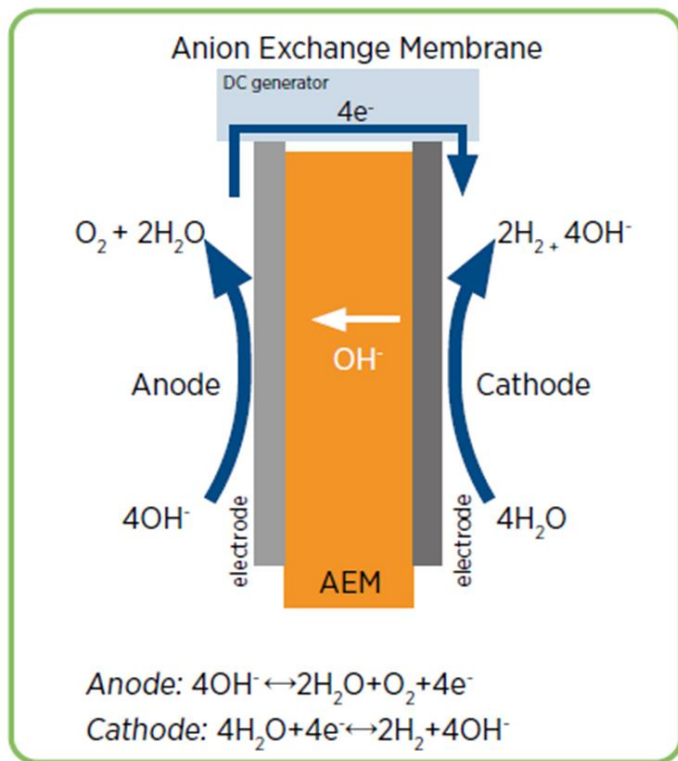
Disminuir la  
energía de  
activación

**Electrocatalizadores**

**Iridio  
(Ir)**



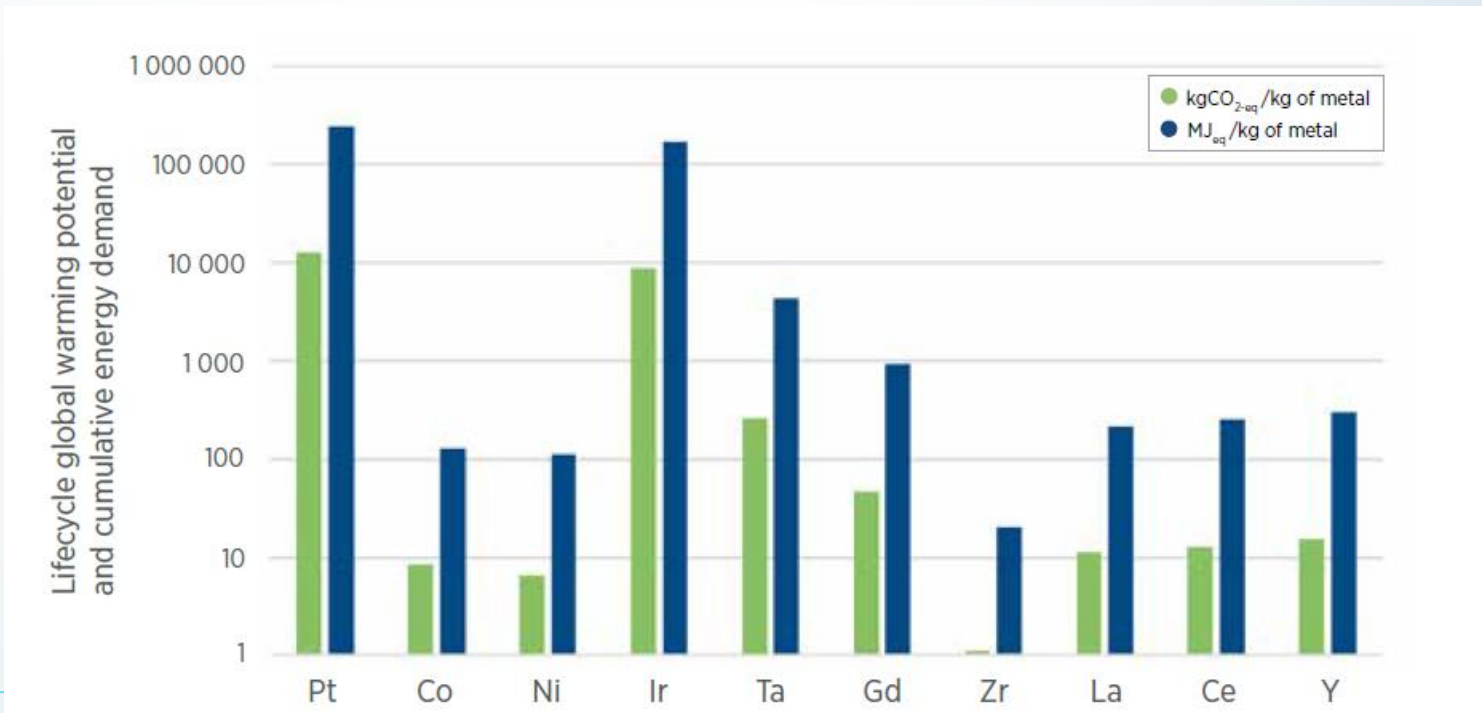
# Electrolizadores membrana de intercambio de aniones



Electrolizador	Membrana de intercambio de aniones (AEM)
Separador	Electrolito sólido: polímero de divinilbenceno soportado con hidróxido de potasio o bicarbonato de sodio
Electrolito	Polímero de divinilbenceno soportado con hidróxido de potasio o bicarbonato de sodio
Electrodo/catalizador (ánodo)	Aleaciones de níquel o NiFeCo de gran área superficial
Electrodo/catalizador (cátodo)	Espuma de níquel

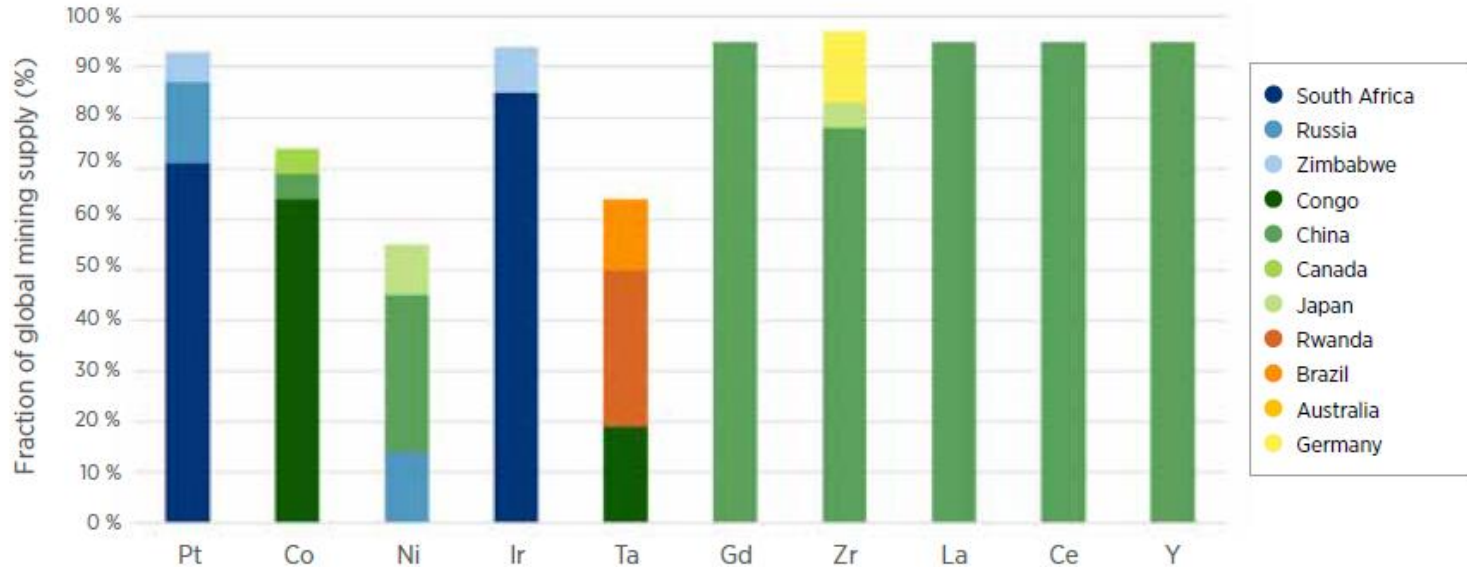


# Materiales críticos utilizados en electrolizadores



Potencial de calentamiento global y demanda acumulada de energía para materiales críticos utilizados en electrolizadores.

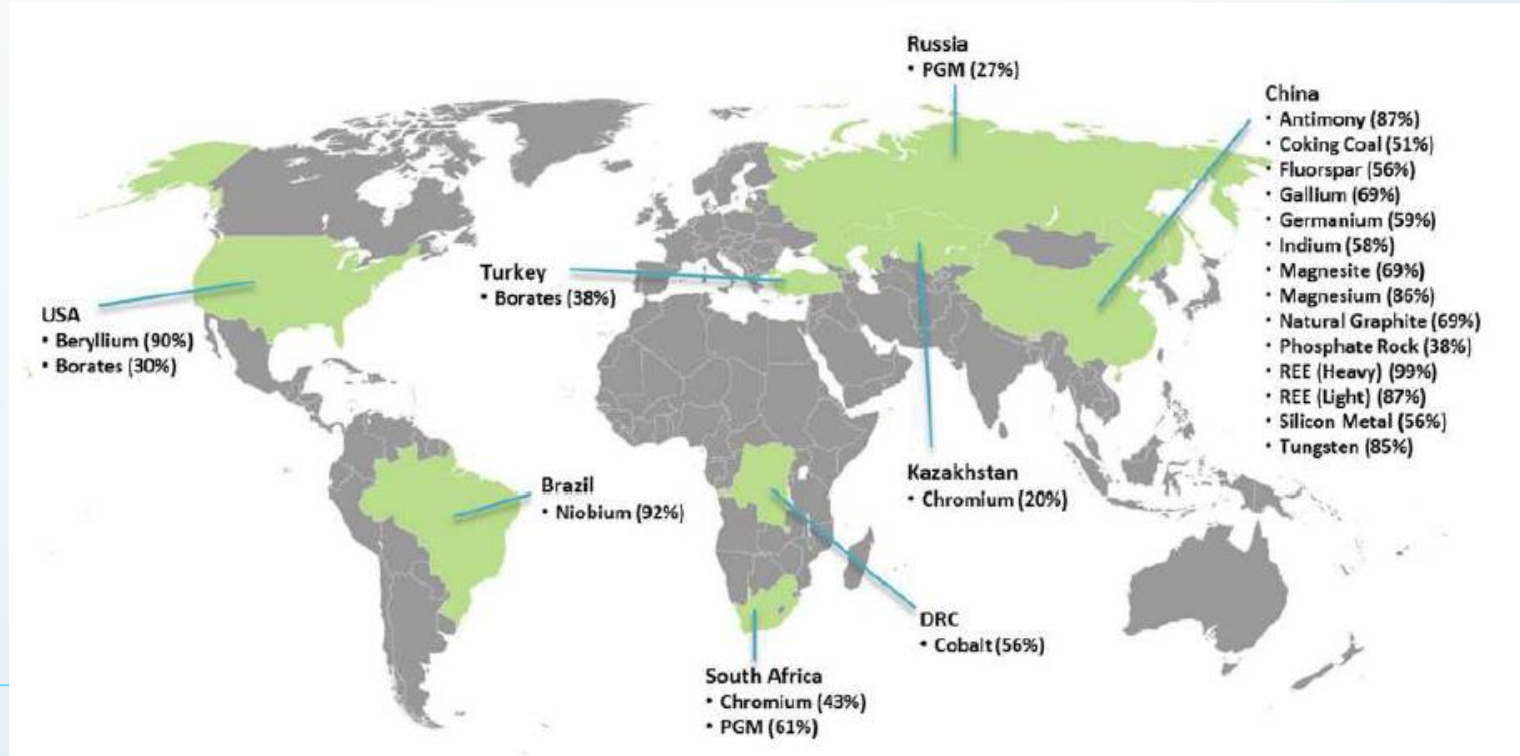
# Suministro de materiales críticos



Source: European Commission, 2020.

Top producers of critical materials in electrolyzers.

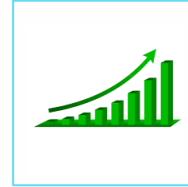
# Suministro de materias primas críticas por países



# Estrategias



Prevencción  
reducción de uso



Extensión del uso  
de los equipos o  
aumento de su  
eficiencia



Reciclaje



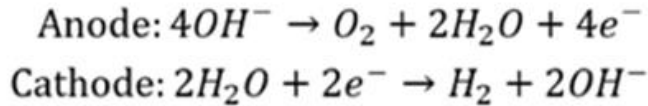
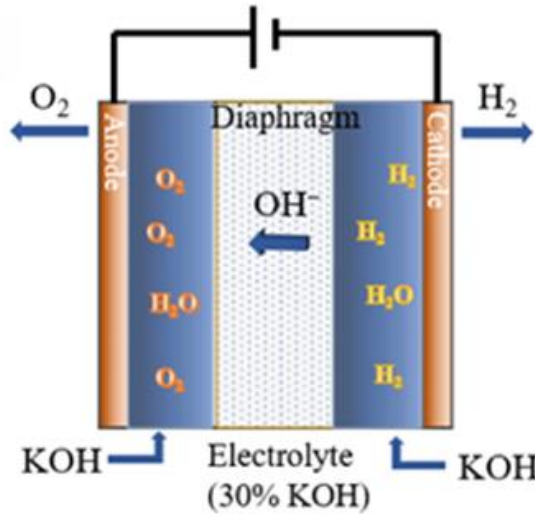
Combinación



# Aspectos de la vida útil

vinculada a los materiales  
constructivos

# Electrolizadores alcalinos



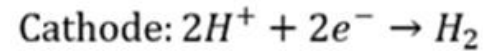
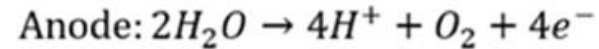
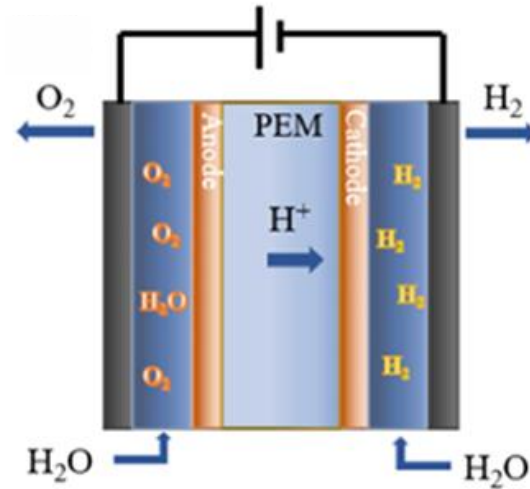
Factores que influyen en su duración:

- Permeación de gas
- Electroodos
- Diafragmas
- Impurezas en el agua

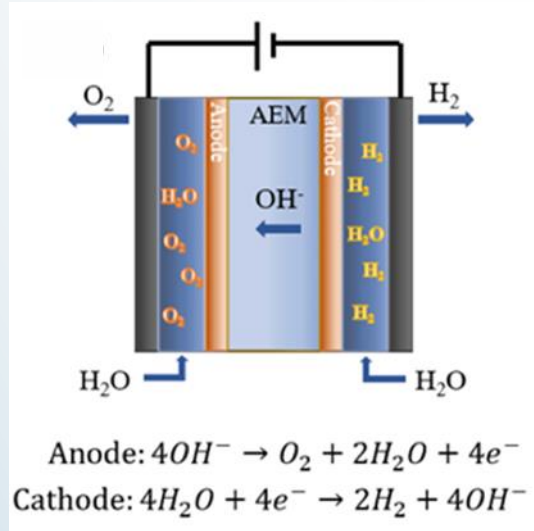
# Electrolizadores de electrolito polimérico

Factores que influyen en su duración:

- Condiciones de operación
- Carga variable
- Permeación de gas
- Disolución del ánodo
- Impurezas en el agua



# Electrolizadores de membrana de intercambio de aniones



Factores que influyen en su duración:

- Degradación de la membrana



Corta vida útil

Información limitada sobre:

Operación a largo plazo

Confiabilidad

Robustez

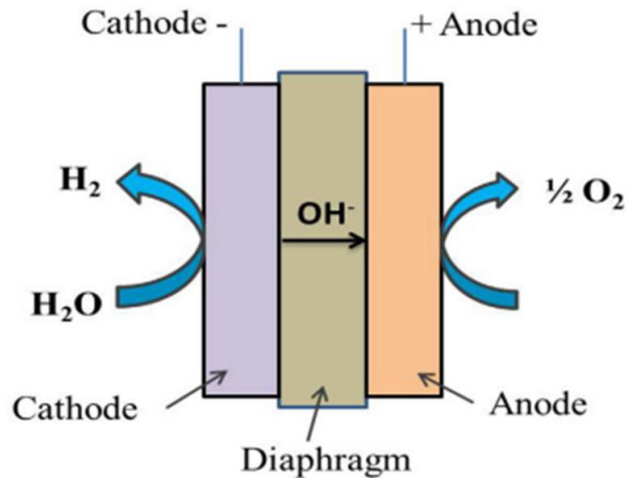


# Desafíos

de las tecnologías de electrólisis de baja temperatura



# Electrolizadores alcalinos



Aumentar las densidades de corriente

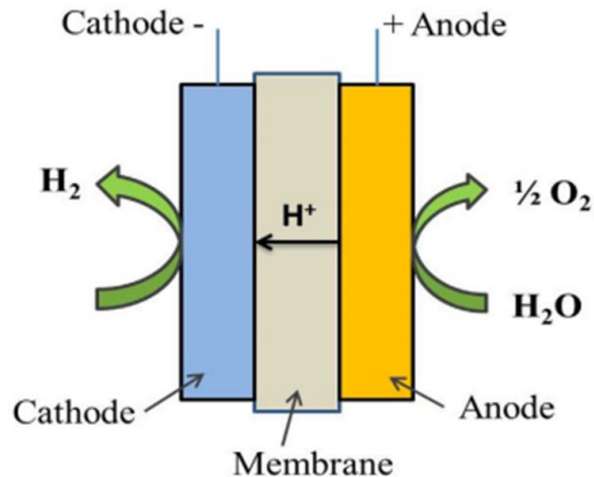
Reducir el espesor del diafragma

Rediseñar las composiciones de los catalizadores

Rediseñar las arquitecturas de los electrodos

Nuevos conceptos de capas de transporte poroso

# Electrolizadores de membrana de electrolito polimérico



Reducir el espesor de la membrana

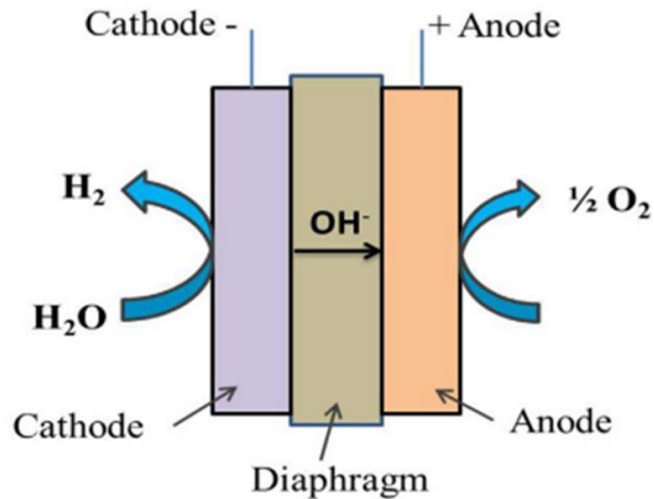
Eliminar recubrimientos costosos

Rediseñar las capas porosas de transporte

Rediseñar las placas bipolares

Rediseñar las membranas recubiertas con catalizador

# Electrolizadores de membrana de intercambio de aniones



Mejorar la durabilidad

Mejorar la conductividad

Encontrar membranas con propiedades deseables

Rediseñar las arquitecturas de los electrodos

Nuevos conceptos de capas porosas de transporte

# Implementación dependerá:

- Avances logrados en investigación y desarrollo
- Mejora de la eficiencia de los sistemas
- Reducción de los costos de producción
- Escalabilidad



# Agradecimientos

Red Cyted H<sub>2</sub>Transel

II Workshop INCT CAPE 2024

Instituto de Investigaciones Científicas y  
Técnicas para la Defensa



# Thanks

Do you have any questions?

**María José Lavorante**

[mlavorante@citedef.gob.ar](mailto:mlavorante@citedef.gob.ar)

+54 911 7098100

[citedef.gob.ar](http://citedef.gob.ar)

