

Usos nucleares del litio (aumentando su cadena de valor por separación isotópica)



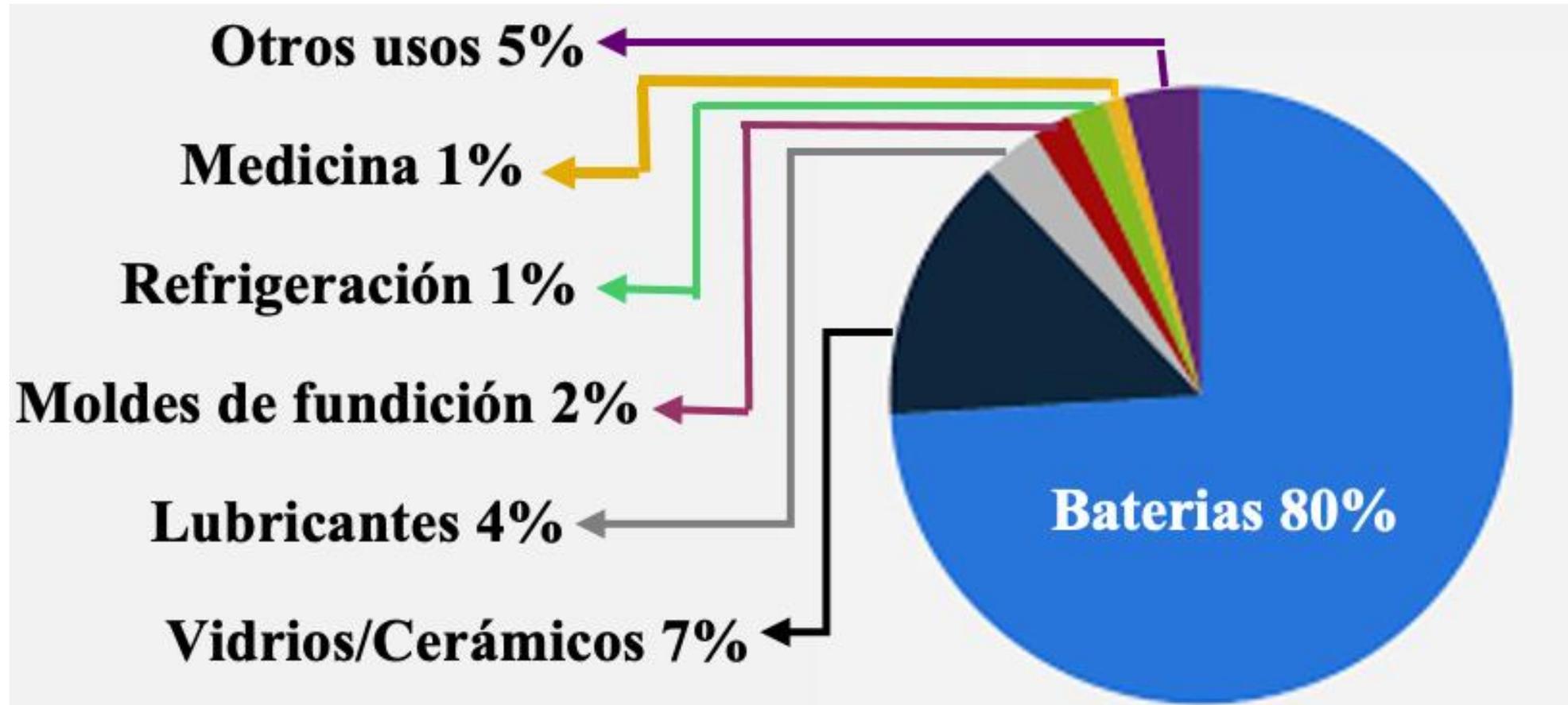
Horacio R. Corti

Departamento de Física de la Materia Condensada,
Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INN)
Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones (LAHN)



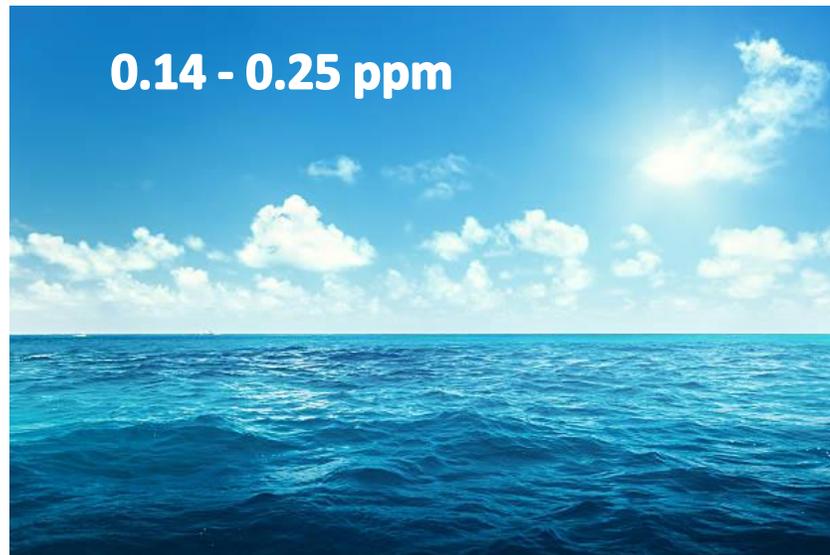
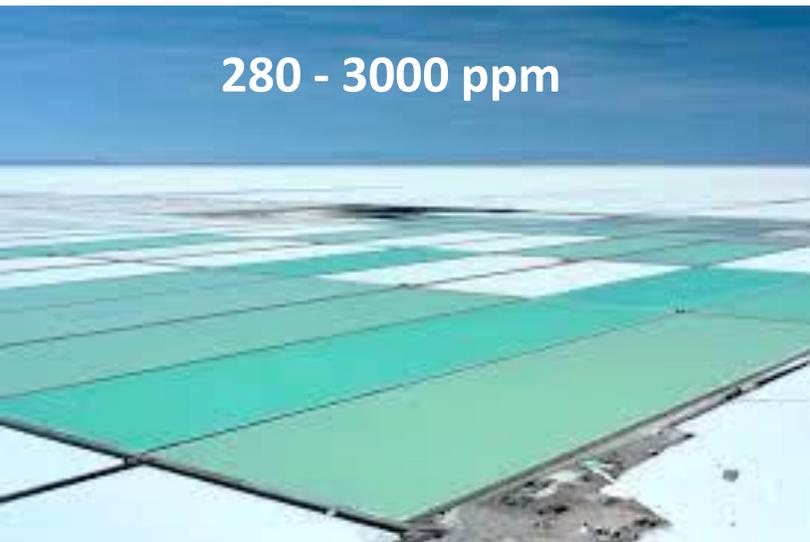
**XLVII Reunión Anual
2023**

Usos del litio

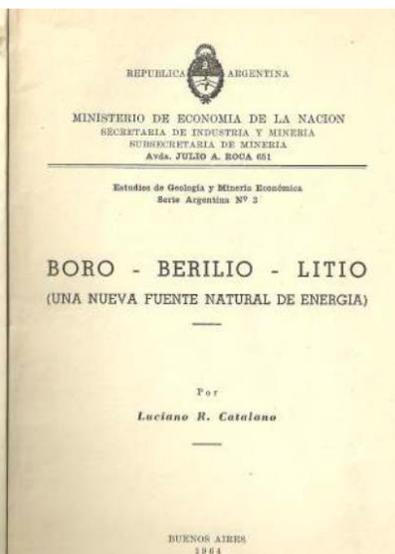
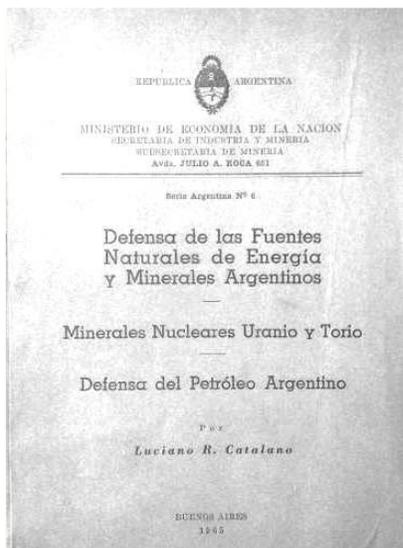


Donde esta el litio?

Fuente	Reservas (MTon)	%
Rocas	6	0,0026
Salares	16	0,0070
Mar	230.000	99,990



Luciano Catalano: el padre del litio



“El litio ha adquirido el carácter de material crítico extraordinario en la defensa nacional, lo que obliga a una sana y obligada actuación estatal para su cuidado y reserva, contrariamente a lo que está sucediendo, que es acapararlo a vil precio por países imperialistas monopolistas que los adquieren y depositan como futuras utilidades vitales en las industrias de paz y de guerra”.

L. Catalano (1964)

Luciano Catalano (1890-1970)

LEY N° 24.804 DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR (2/4/1997)

CAPITULO I/ ARTICULO 2°- inciso h: La CNEA tendrá a su cargo **ejercer la propiedad estatal de los materiales fusionables especiales que pudieren ser introducidos o desarrollados en el país**

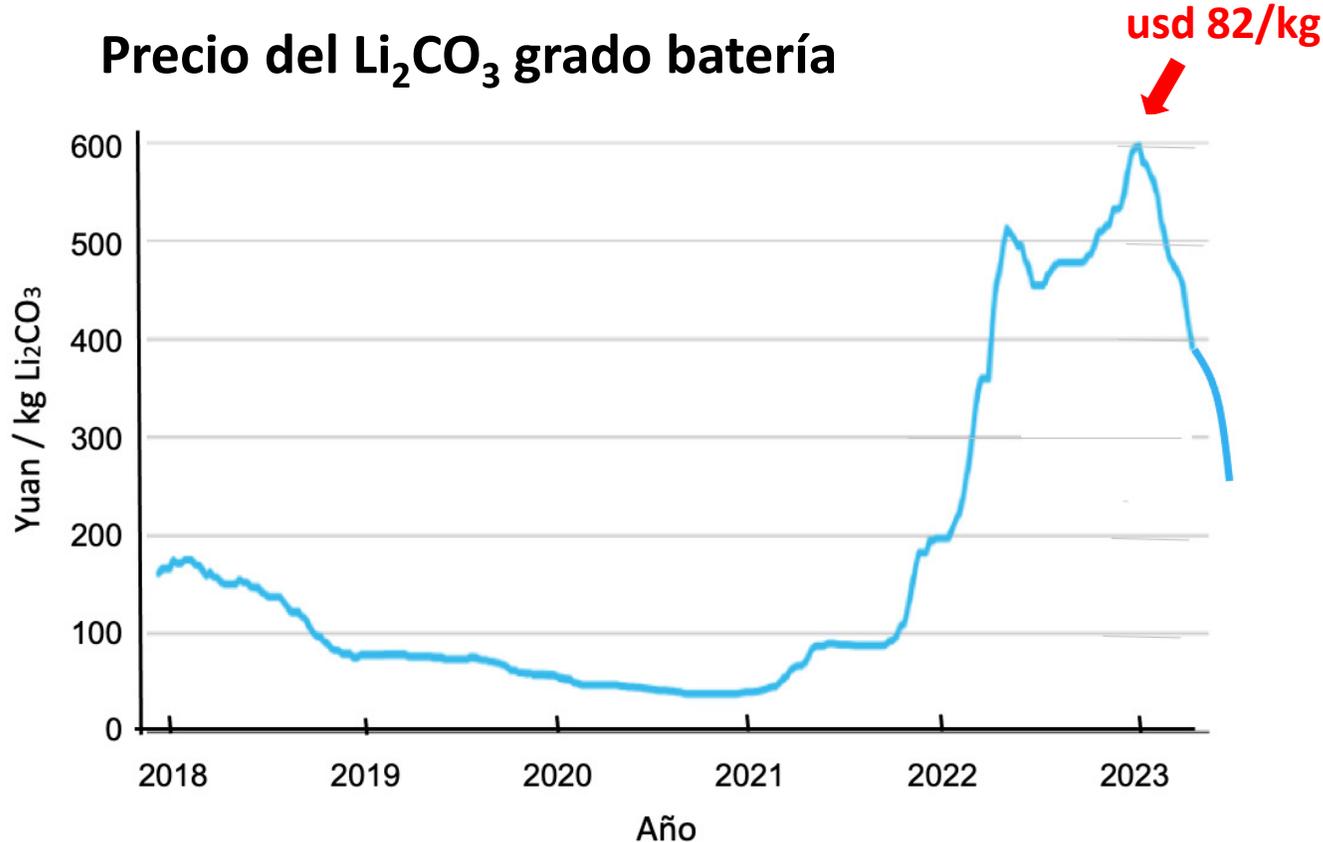
La Constitución de 1994, incorporó en el último párrafo del art. 124 el reconocimiento a las provincias del **«dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio»**

Producción y precio del Li_2CO_3

Producción de litio grado batería (en Toneladas)

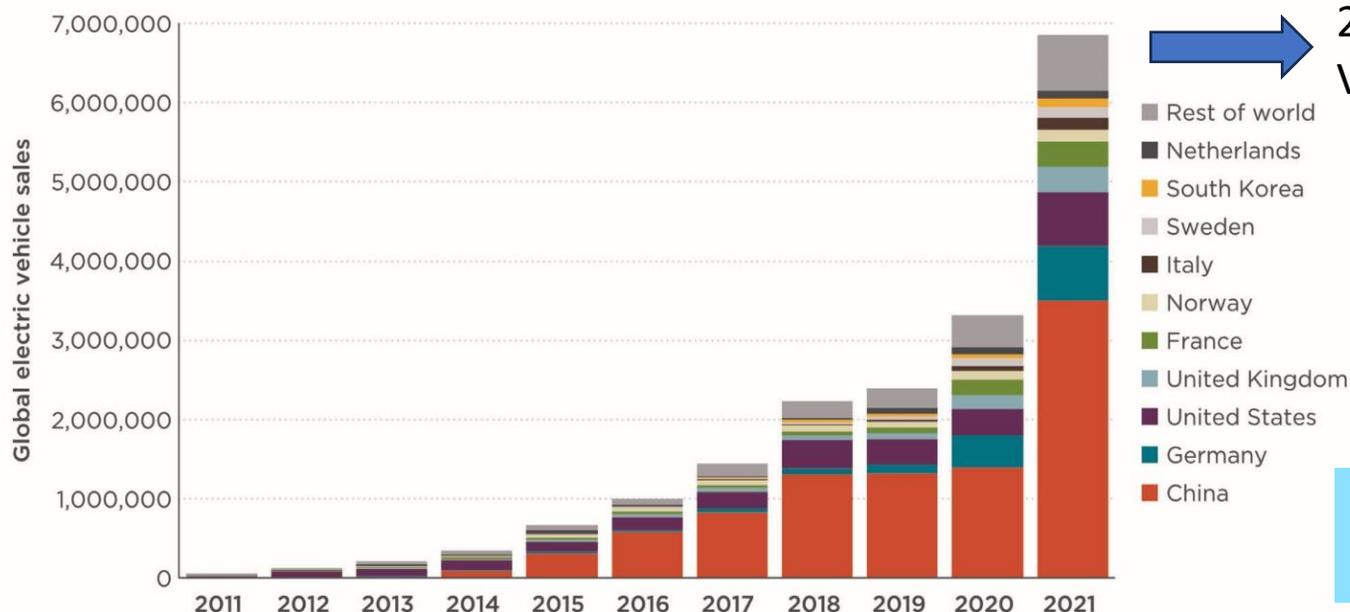
Pais	2020	2021	2022	Reservas	Recursos
Australia	39,700	55,300	61.000	6.200,000	7,900,000
Chile	21,500	28.300	39.000	9,300,000	11,000,000
China	13,300	14,000	19.000	2.000,000	6,800,000
Argentina	5,900	5.970	6,200	2.700,000	20,000,000
Brazil	1,420	1.700	2.200	250.000	730,000
Zimbabwe	417	710	800	310,000	690,000
Portugal	348	900	600	60,000	270,000
Bolivia					21.000.000
Others			1.200	5.180,000	29.610,000
TOTAL	82,500	100,000	130.000	26,000,000	98,000,000

Precio del Li_2CO_3 grado batería



Fuente: US Geological Survey (2022)

¿Por qué el litio en tecnología nuclear?



La batería de 70 kWh del Tesla (equivalente a 10.000 celulares) contiene 12 kg de Li (63 kg de Li_2CO_3)



200 millones de autos electricos requieren 2,4 Mton de Li \approx 10 % de las reservas mundiales o 100% de las argentinas



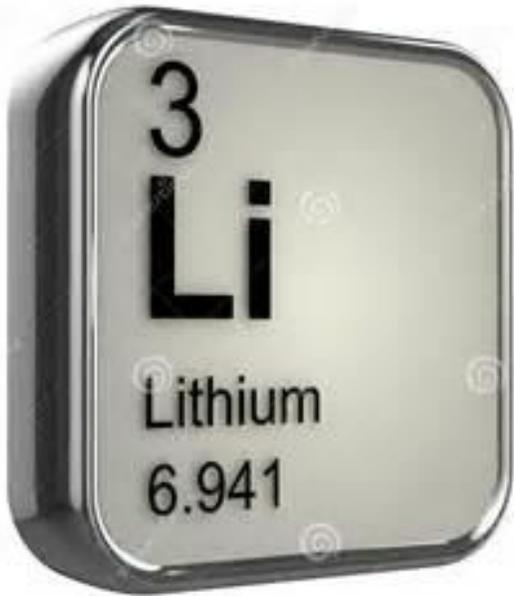
Exportaciones de Li en 2021: 208 Musd. Aportaron 6.2 Musd al PBI por retenciones (3%)

En 2021 las retenciones por exportaciones de soja fueron de 8.592 Musd.

La recaudacion tributaria por tonelada de Li_2CO_3 es 5 veces menor que en Chile.

El uso de litio en tecnología nuclear tiene un impacto mucho mayor sobre su cadena de valor y no compromete las reservas en el largo plazo.

El litio y sus isótopos en tecnología nuclear



${}^7\text{Li}$ 92,58 %

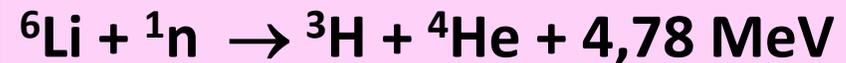
${}^6\text{Li}$ 7,42 %

Transparente a los neutrones

Sección eficaz de absorción de neutrones:
0,045 barns

Opaco a los neutrones

Sección eficaz de absorción de neutrones:
940 barns

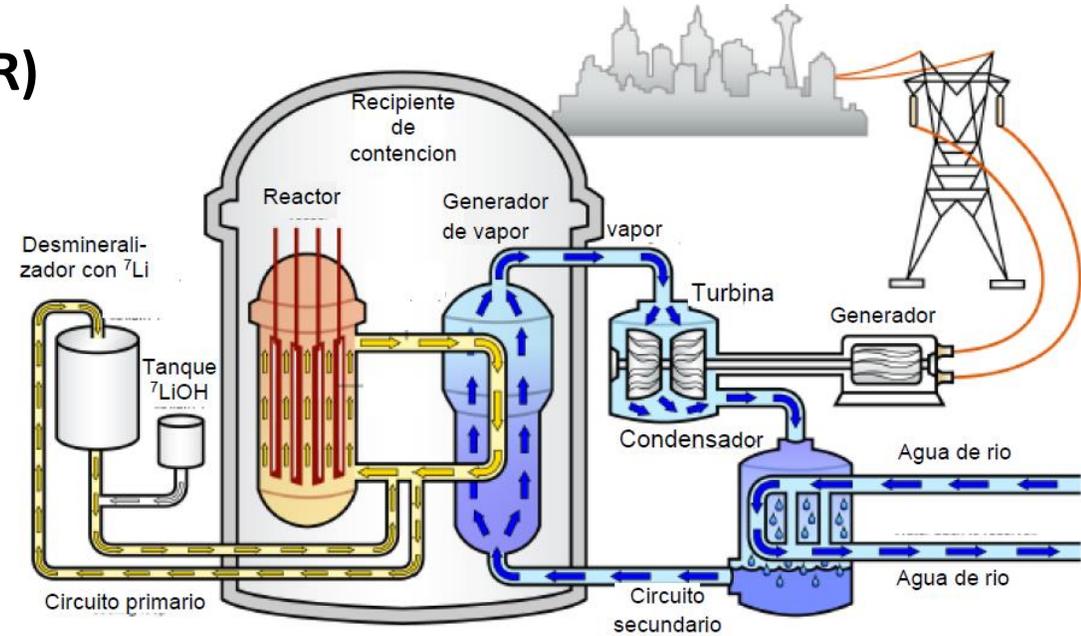
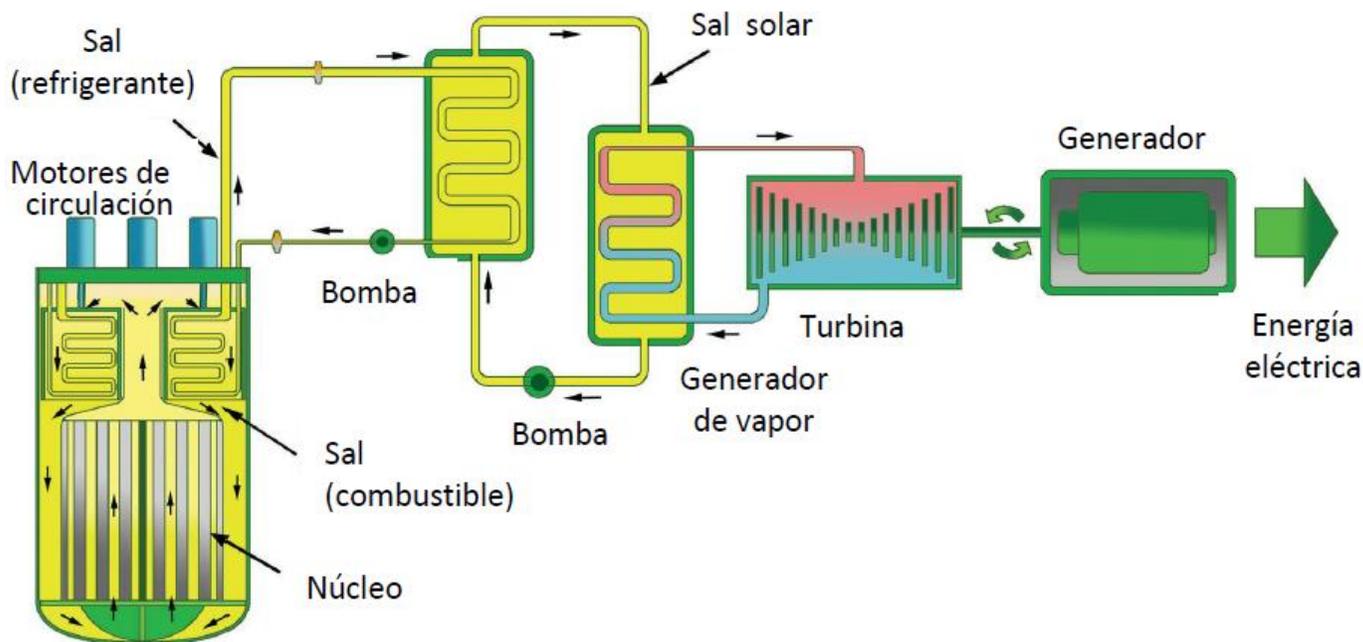


El ^7Li en tecnología nuclear

El ^7Li en los reactores de agua pesada presurizados (PHWR)

Utilizan $^7\text{LiOH}$ enriquecido 99.95%. Es producido en Rusia y China, pero no es comercializado en nuestro país. Hay un solo proveedor (Alemania) que lo comercializa en Argentina, con restricciones, a usd 2.110/kg.

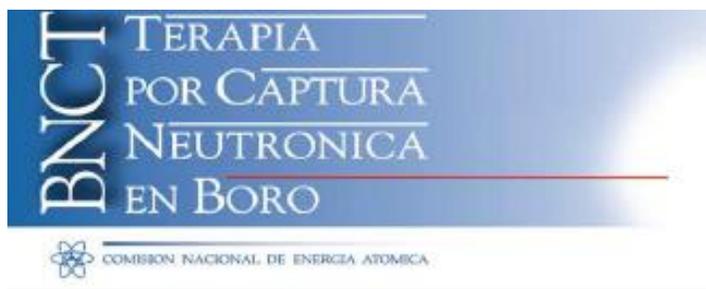
El ^7Li en reactores de sal fundida (MSR)



Utilizan cerca de 1000 kg de ^7LiF (+ BeF_2) enriquecido a niveles de 99,995 % por lo que el valor del ^7LiF es mayor (> u\$s 15.000/kg)

El ${}^6\text{Li}$ en tecnología nuclear

Medidores de flujo neutrónico

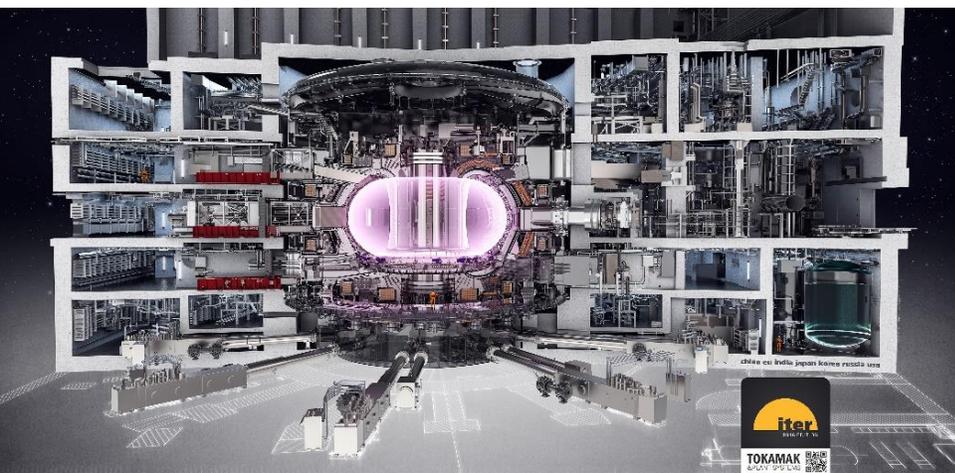


Blindajes

Tomografía de neutrones (ASTOR)



Reactores de fusión



Precio del Li_2CO_3 grado batería: 55 usd/kg (gran demanda del mercado: electromovilidad)

Precio del Li-6 (95%): 76.600 usd/kg (mercado pequeño)

El ^6Li en centelladores

RC **TRITEC**

Una placa TRITEC de 20 cm x 20 cm cuesta u\$s 4500
Está formada por un soporte de aluminio sobre el que se deposita una capa de 200 μm de un polímero con una carga de 77% de $^6\text{LiF}/\text{ZnS}:\text{Ag}$ (1:2)
Carga aproximada de ^6LiF : $\approx 26\%$ (1 g de ^6Li)
Nivel de enriquecimiento $^6\text{Li} \approx 95\%$

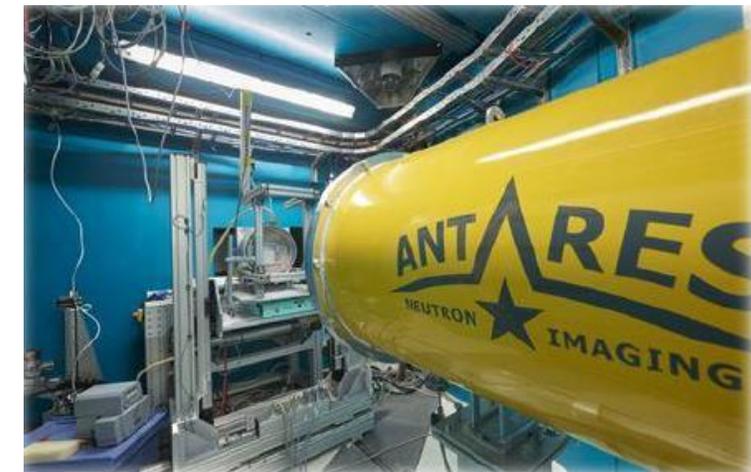


1 placa centelladora equivale al precio del electrolito de 13 baterías de Tesla (8,5 kg Li_6P /batería)

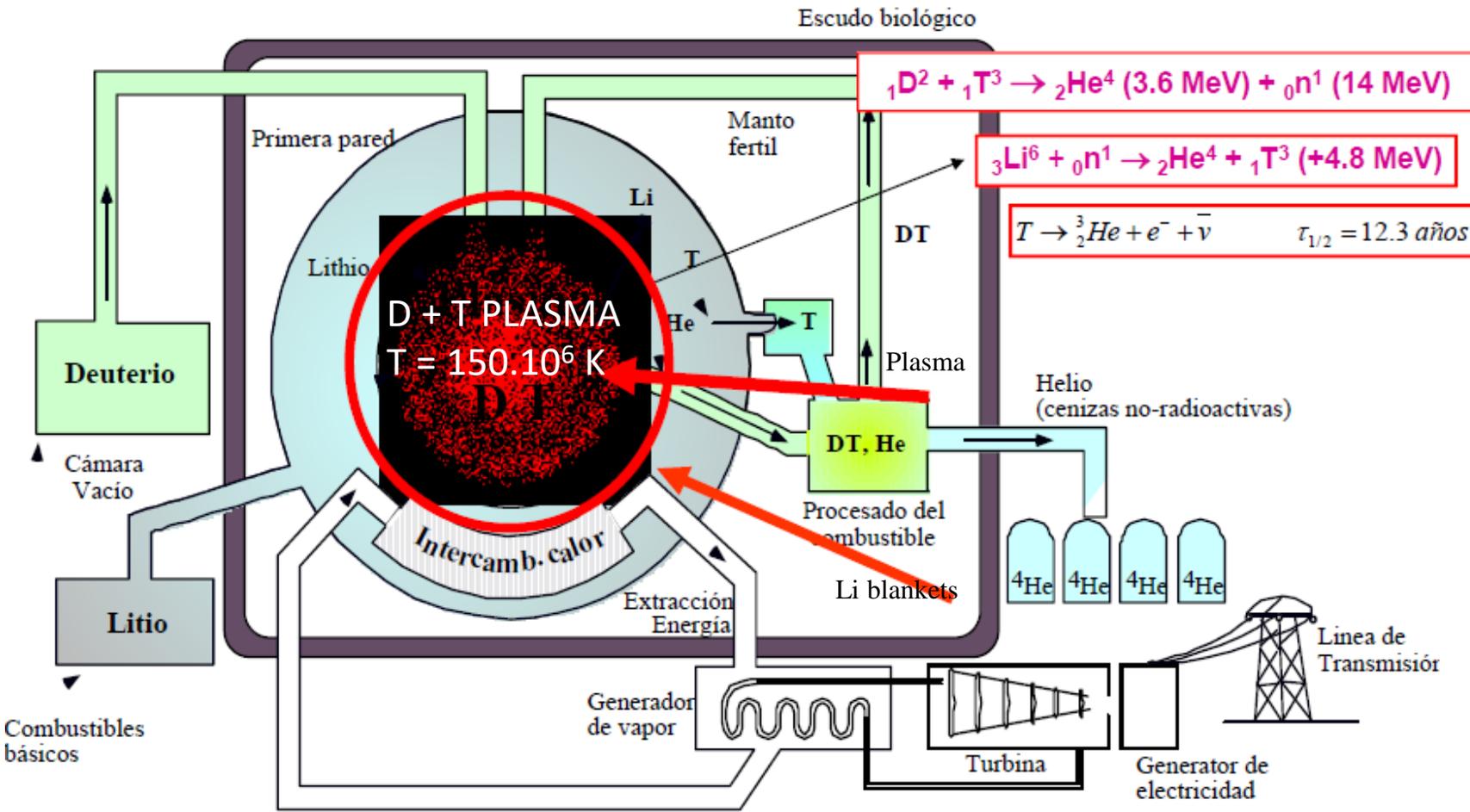
Una facilidad de imágenes por neutrones como ANTARES en MLZ (Munich) utiliza cerca de 1 m^2 de centelladores por año a un costo aproximado de usd 100.000.

Existen alrededor de 50 instalaciones de este tipo en todo el mundo, que representa un mercado de 5 Musd/año.

Esta demanda requiere $\approx 1,25$ kg/año de ^6Li enriquecido al 95 %



El ${}^6\text{Li}$ en fusión nuclear: proyecto ITER



ITER requiere 35 kg de T/ año que equivale a 70 kg de ${}^6\text{Li}$ (5 Ton $\text{Li}_2\text{CO}_3 \approx 80$ baterías de Tesla)



Objetivos ITER:

- Producir 500 MW por fusión con $Q=10$ (primer experimento en la historia con $Q > 1$).
- Demostrar la operación integral de la tecnología de fusión usando Li como combustible.
- Generar el know-how para el proyecto DEMO (reactor de fusión de 1,5 GW)

El ${}^6\text{Li}$ en fusión nuclear: proyecto DEMO

Diseño de ingeniería y decisión de construcción: 2030

Construcción: 2031 - 2043

Comienzo de operación: 2044

Generación de electricidad: 2048

Potencia: 1.500 MW

¿Cuanto ${}^6\text{Li}$ se necesita?

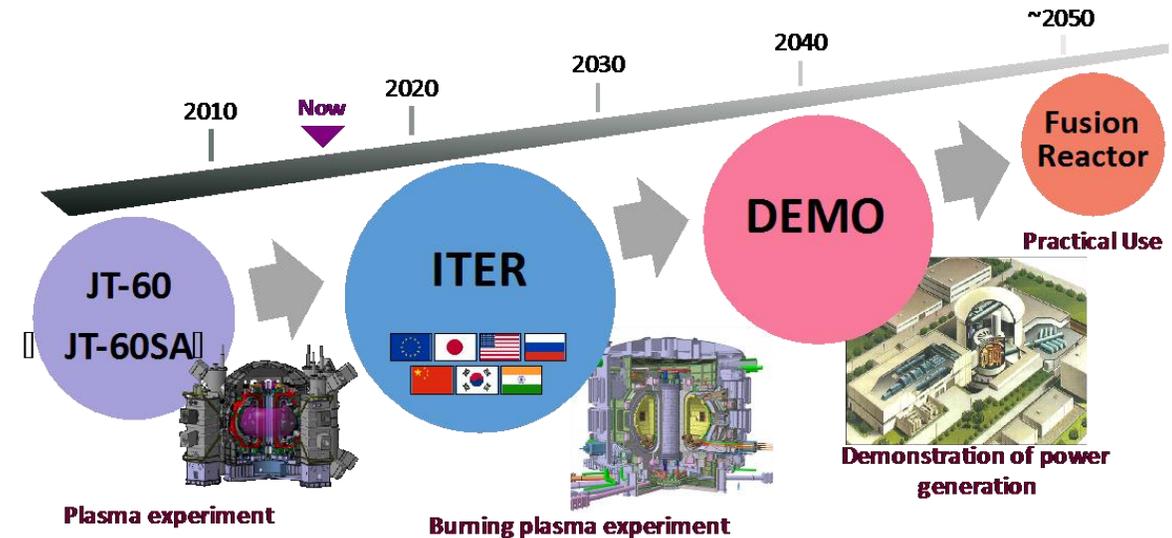
Blanket líquido: mezcla eutéctica ${}^{16}\text{Li}$ - ${}^{84}\text{Pb}$ ($T_f = 510\text{ K}$) conteniendo 0,64% m/m de ${}^6\text{Li}$ 90%

o blanket sólido de ${}^6\text{LiSiO}_4$ con ${}^6\text{Li}$ 90%

El DEMO va a requerir una carga de 9.400 Ton de $\text{LiPb} = 39\text{ Ton de } {}^6\text{Li}$ (2.800 Ton de Li_2CO_3 o 44.400 baterías de Tesla).
El consumo anual será de 168 kg ${}^6\text{Li}$ (12 Ton de Li_2CO_3 o 190 baterías)

Giegerich, Battes, Schwenzer, Day; Fusion Eng. Design 149 (2019) 111339

Potencia instalada mundial: 8.000 GW. En un año demandaría 64.000 Ton de Li_2CO_3 (1.000.000 baterías) $\approx 3\%$ de las reservas de Argentina. Para Argentina (43 GW) se necesitarían el 0,002% de las reservas (500 años)



Proyecto Estratégico – Transición Energética

Convocatoria Proyectos Estratégicos para la Transición Energética



Agencia I+D+i
Agencia Nacional de Promoción
de la Investigación, el Desarrollo
Tecnológico y la Innovación

FONARSEC
Fondo Argentino
Sectorial

Marzo 2022

Separación isotópica de litio para usos en tecnología nuclear de alto valor agregado

1. Energía Termosolar para aplicaciones industriales.
2. Energía Eólica de Potencia para Generación Eléctrica.
3. Producción de Biocombustibles.
4. **Desarrollo de la cadena de valor del Litio.** 
5. Desarrollo de la cadena de valor del Hidrógeno.
6. Desarrollo de Tecnología Undimotriz.
7. Integración a red de las energías

- **Tecnologías para la extracción y procesamiento de litio**
- **Baterías de litio**
- **Aprovechamiento de derivados de litio**

Comienzo: 12 de Enero de 2023

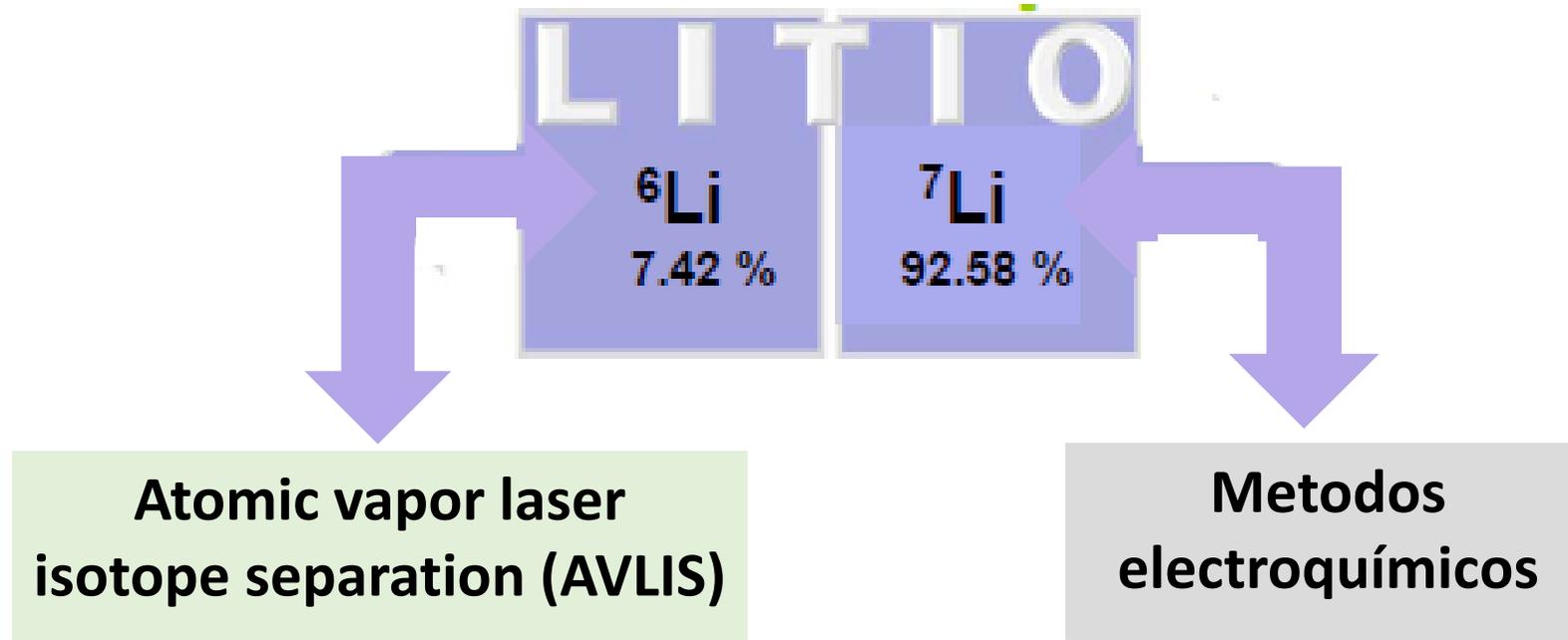


- 1) Separar isotópicamente Li-7 a niveles $\geq 99.9\%$ por métodos electroquímicos.
- 2) Escalar la separación electroquímica para la producción ${}^7\text{LiOH}$ para el acondicionamiento químico de centrales nucleares tipo PWR y PHWR.
- 3) Separar isotópicamente Li-6 por la técnica AVLIS (Atomic Vapor Laser Isotope Separation), hasta niveles de enriquecimiento $\geq 90\%$.
- 4) Construir placas centelladoras para sistemas de imágenes y detección de neutrones utilizando Li-6 para reemplazo de insumos importados en las facilidades nucleares del país y su posible exportación.
- 5) Construir sistemas de detección de neutrones que incorporen Li-6 y la electrónica de procesamiento de señales, capaz de ser replicado y escalado para su producción comercial.
- 6) Producir reproductores de tritio para reactores de fusión empleando sales de litio enriquecidas en Li-6, posicionando a Argentina entre los países que contribuyen al desarrollo de esta tecnología.

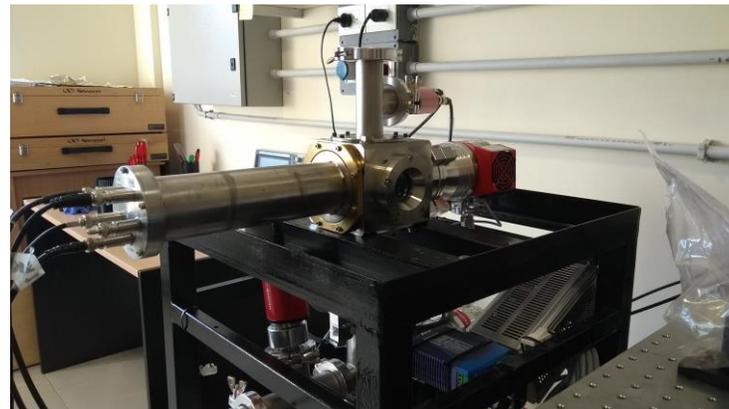
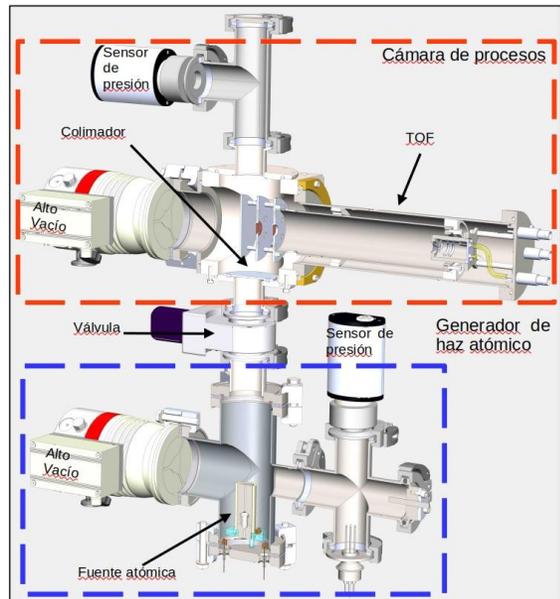
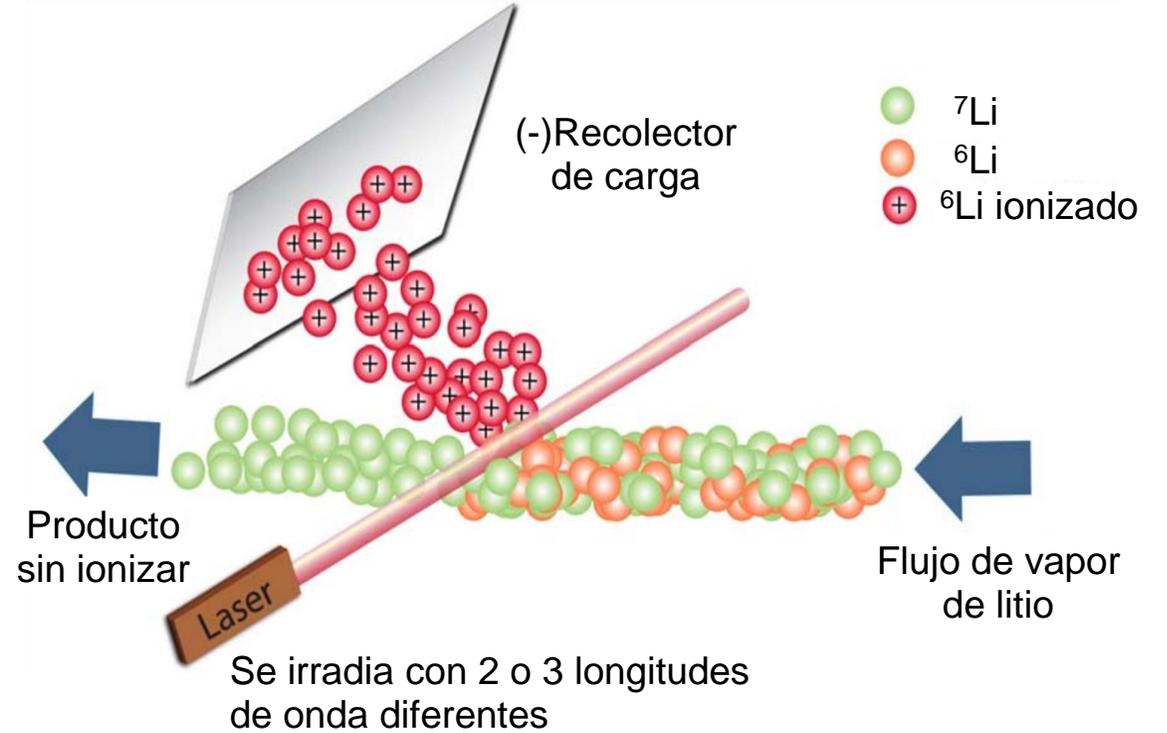
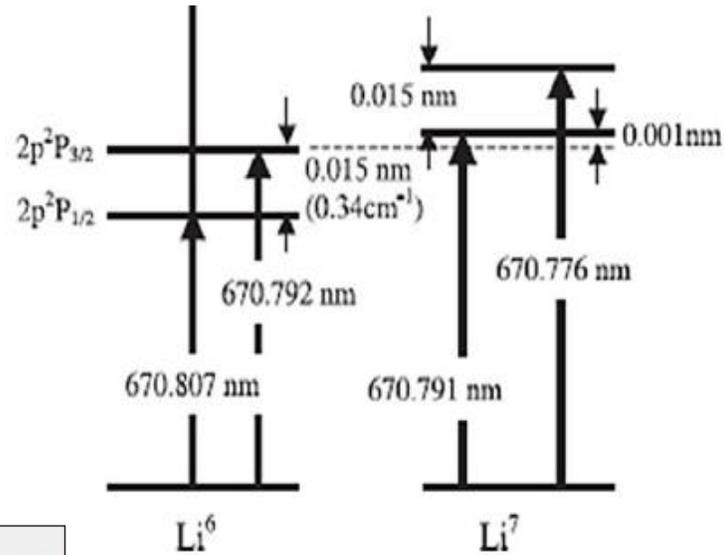
Separación isotópica

$$R = \frac{({}^7\text{Li}/{}^6\text{Li})_{\text{original}}}{({}^7\text{Li}/{}^6\text{Li})_{\text{procesado}}}$$

$$\Delta^7\text{Li} = 1000 \left[\frac{({}^7\text{Li}/{}^6\text{Li})_{\text{sample}}}{({}^7\text{Li}/{}^6\text{Li})_{\text{standard}}} - 1 \right]$$



AVLIS: atomic vapor laser isotope separation



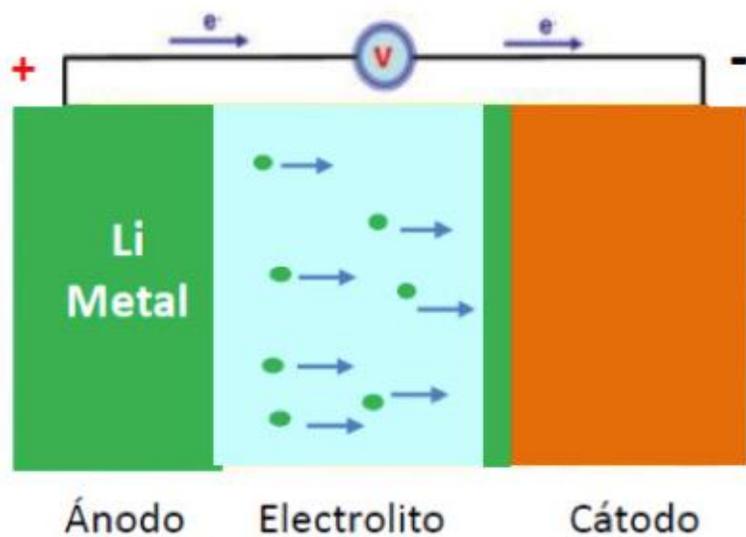
ENRIQUECIMIENTO DE LITIO POR LÁSER PARA DETECTORES DE NEUTRONES

Pablo Knoblauch

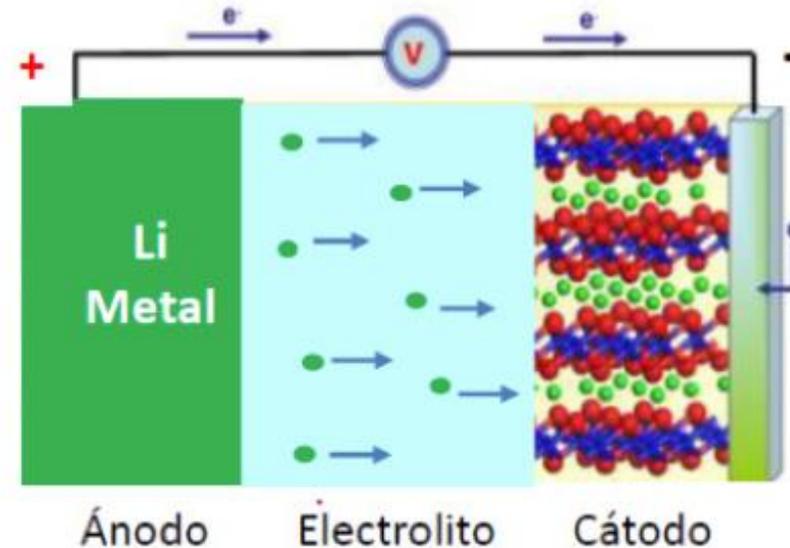


Separación electroquímica

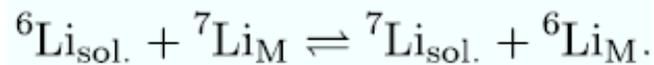
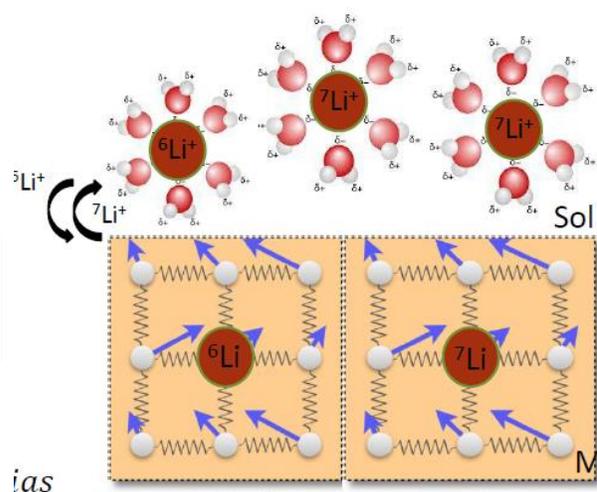
Electrodeposición de litio



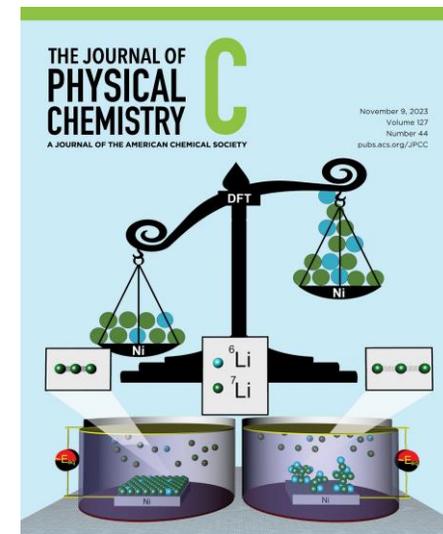
Inserción electroquímica de litio



Simulación computacional de la separación isotópica de Li



$$R = \frac{([{}^7Li] / [{}^6Li])_{sol.}}{([{}^7Li] / [{}^6Li])_M}$$



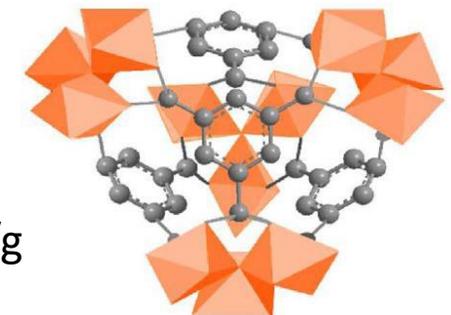
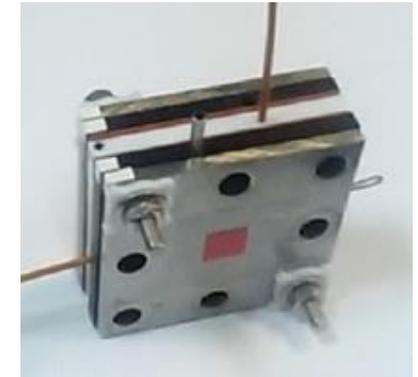
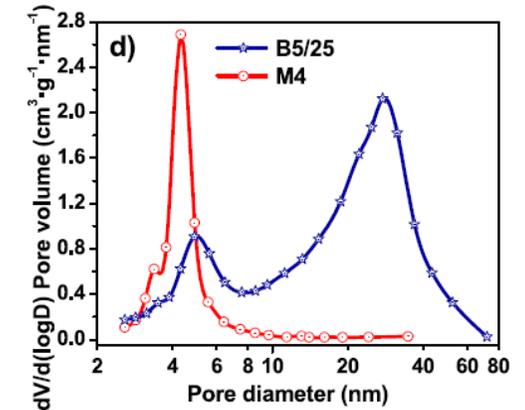
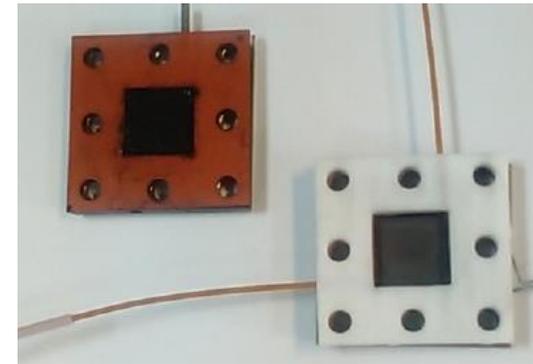
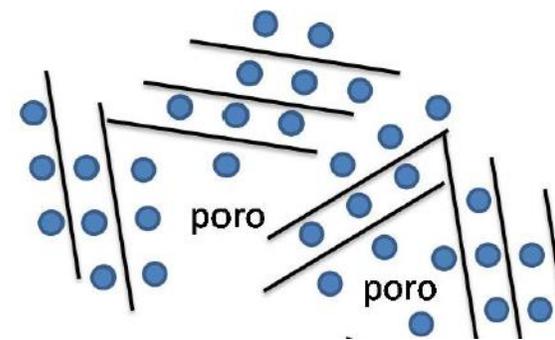
Veronica Vildosola / Andrea Barral

Separación electroquímica

Algunos resultados

Sustrato	Medio / T (°C)	R
Hg	Agua / 20	1,049 – 1,062
Ga	EC/MEC / 25	1,015 – 1,025
Zn	EC/MEC / 25	1,005 – 1,023
Sn	EC/MEC/ 28	1,002 – 1,015
Grafito	EC/MEC/ 25	1,007 – 1,025
Ni	PC / 20	1,018 – 1,030
Ni mesoporoso	Glimas/ 25	1,050 – 1,11
Hard carbon	H ₂ O / 25	1,070 ?
Au	DMSO / 25	1.023-1.053
MOF (Absorción)	Agua / 25	1.044

CNEA

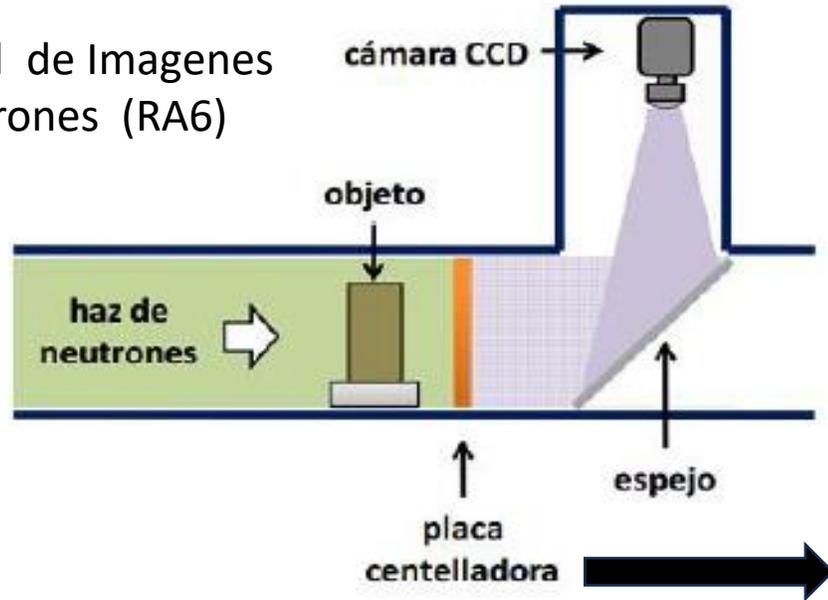


MOF de base Fe
Adsorbe 80 mg Li /g

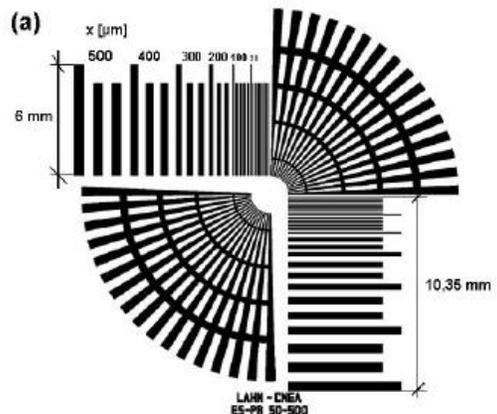
Placas centelladoras: pruebas en el RA6



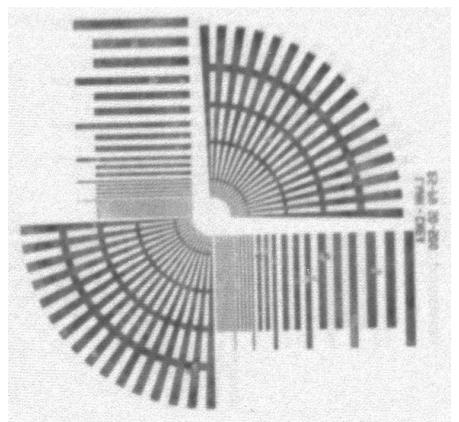
Facilidad de Imagenes de Neutrones (RA6)



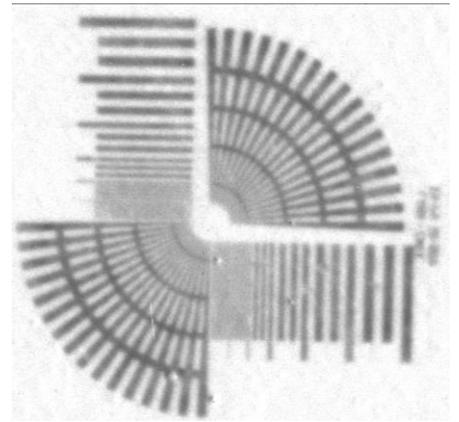
Federico Cabello Julio Marin



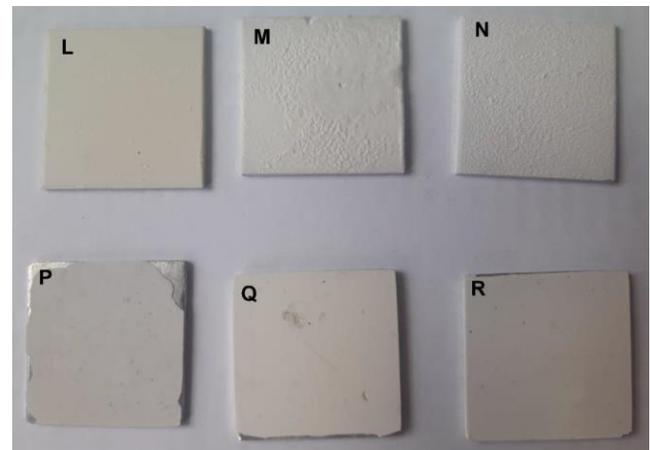
Estrella Siemens (Gd)



Placa TRITEC



Placa CNEA



Resolución espacial $\approx 100 \mu\text{m}$

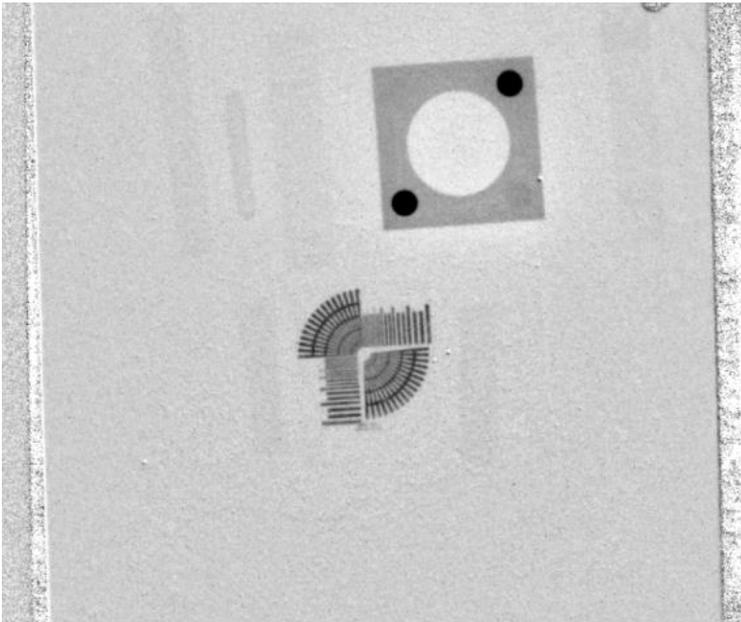
Placas centelladoras: pruebas en PSI y RA3

E. H. Lehmann, P. Boillat:: Lab. Neutron Scattering & Imaging :: Paul Scherrer Institute

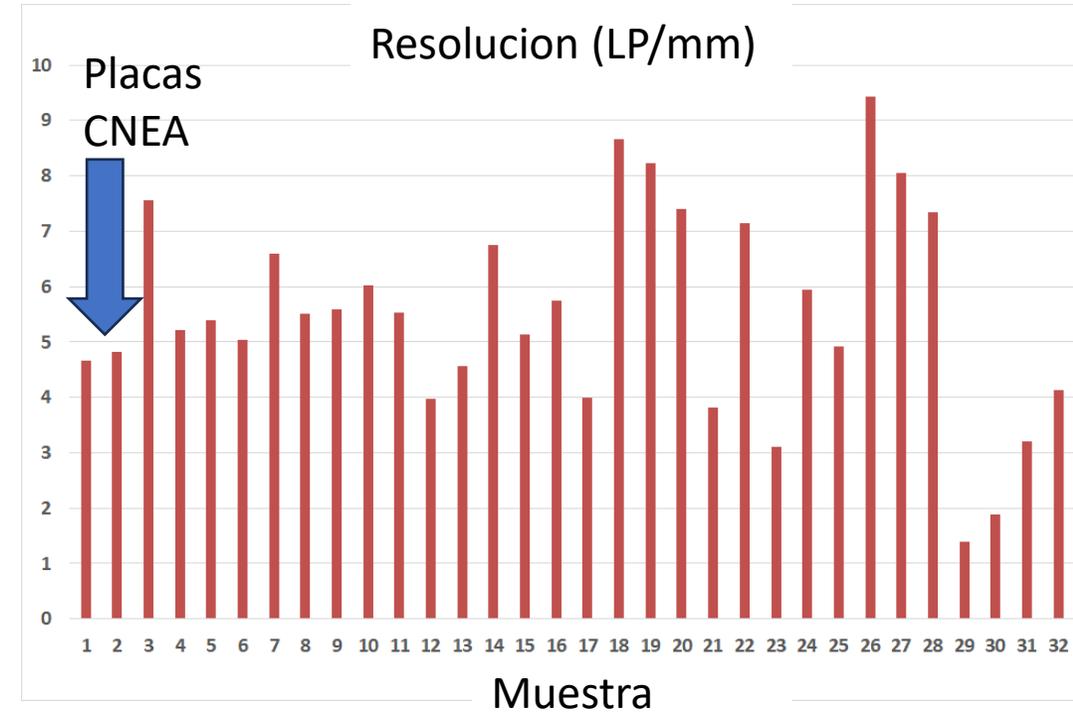
B. Walfort, RC Tritec, Teufen, Switzerland

Advances in scintillator screen technology for neutron imaging

IAEA Workshop on Detectors for Neutron Scattering and Imaging, Vienna (virtual), August 30th – Sept. 3rd, 2021



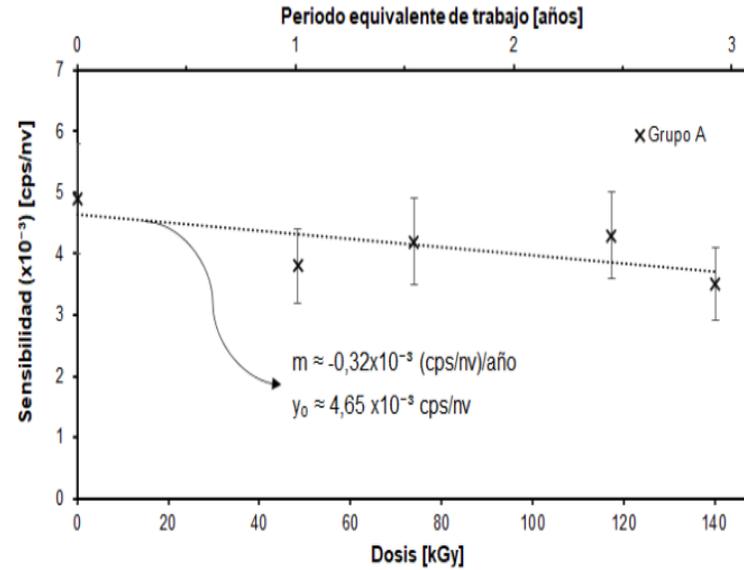
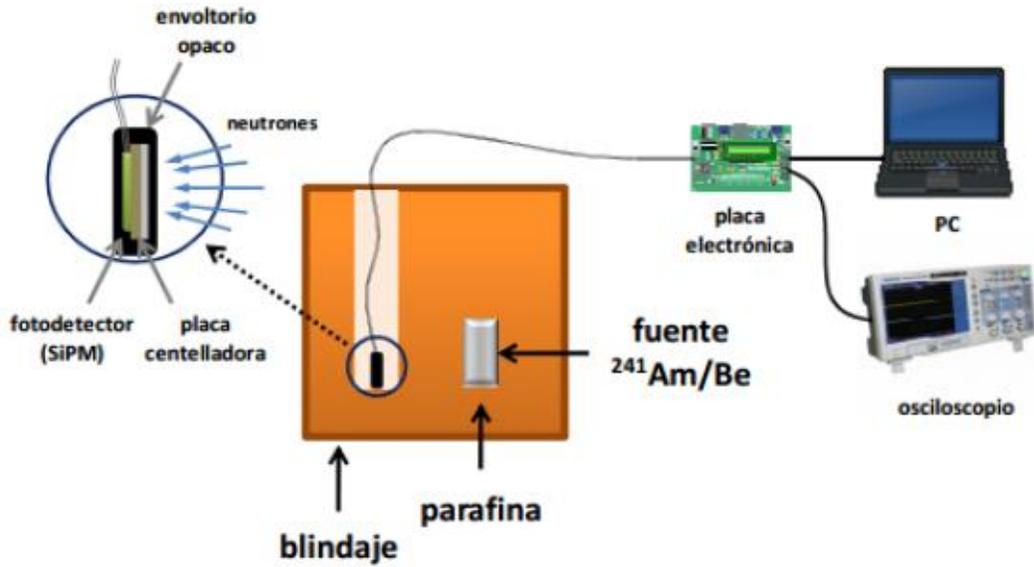
Primera imagen de neutrografía digital en el RA-3



J. Pinto, N. Vega, E. Pozzi y otros

AVANCES EN LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE NEUTROGRAFIA DIGITAL EN EL RA3

Sensores de neutrones y reproductores de tritio

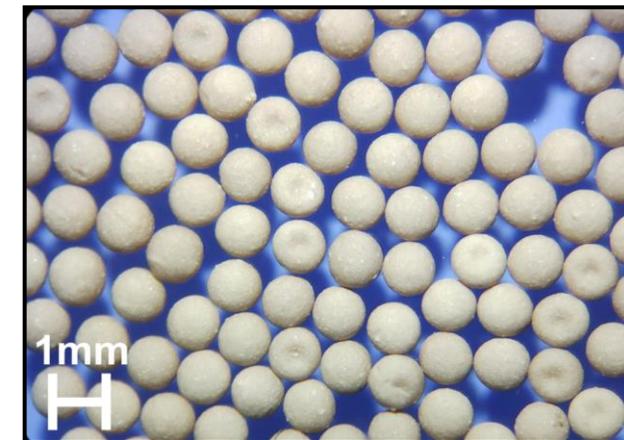
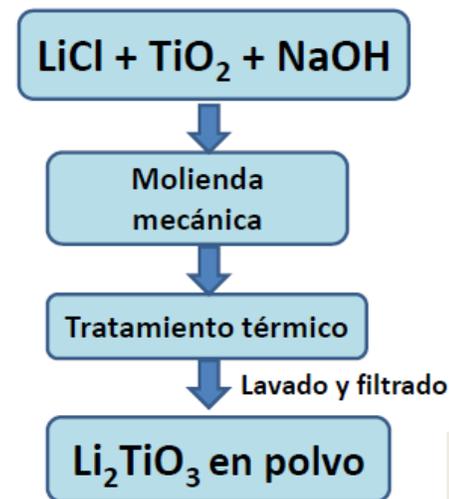


Federico Izraelevitch

Tomás Rabago y Fabiana Gennari



Efectos de la atmósfera reductora y de la implantación de iones He en la estabilidad fisicoquímica del Li_2TiO_3



Conclusiones y perspectivas

Valor agregado

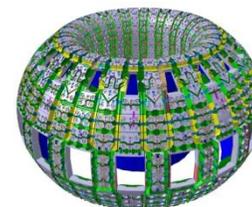
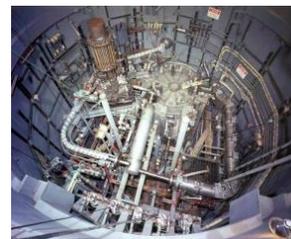
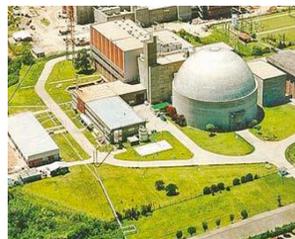
x13

x71

> x270

> x910

x 82.000



Li_2CO_3 grado
bateria 55 u\$s/kg
natural

LiPF_6 +LMO
700 u\$s/kg
natural

$^7\text{LiOH}$ (PHWR)
2,500 u\$s/kg
99,95%

^7LiF (MSR)
> 15.000 u\$S/kg
99,995%

^6Li (DEMO)
> 50,000 u\$S/kg
95%

^6Li Centelladores
4,5 Musd
95%

El uso de litio en tecnología nuclear:



- Tiene un enorme impacto sobre su cadena de valor.
- No afecta significativamente las reservas.
- Permitiría desarrollar insumos para consumo interno y exportación.
- Posicionaría a Argentina como futuro proveedor de combustible para reactores de fusión.



- Require desarrollar nuevos métodos limpios, sustentables, eficientes y económicos de separación isotópica.

Gracias por la atención!



NUCLEOELÉCTRICA
ARGENTINA S.A.



Agencia I+D+i
Agencia Nacional de Promoción
de la Investigación, el Desarrollo
Tecnológico y la Innovación

FONARSEC

Fondo Argentino
Sectorial

