



Taller virtual:

**“Vigilancia tecnológica en la extracción y
en la agregación de valor al litio”**

**Módulo 3: Materiales
catódicos**

Dr. Edgar Bautista Q.
Jefe de la Planta Piloto de Materiales Catódicos y Baterías
Yacimientos de Litio Bolivianos

11 de abril de 2025



AGENDA

1. INTRODUCCION
2. GENERALIDADES
3. SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS
4. PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATODICOS DE YLB



INTRODUCCION



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE
HIDROCARBUROS Y ENERGÍAS

INTRODUCCION

- ❖ “**Material Catódico**”, “Cátodo”, o “Material Catódico Activo (CAM)” es el término empleado para describir al componente electroquímicamente **activo** de una batería.
- ❖ “**Celda de ion litio**” es un **acumulador reversible** de energía eléctrica en forma de energía química debido a la existencia de dos reacciones electroquímicas separadas y acopladas
- ❖ “**Pack de Batería**” conjunto de un número de celdas que se encuentran configuradas en serie, paralelo, o una combinación de ambos, para entregar voltaje, capacidad o densidad de energía deseada.



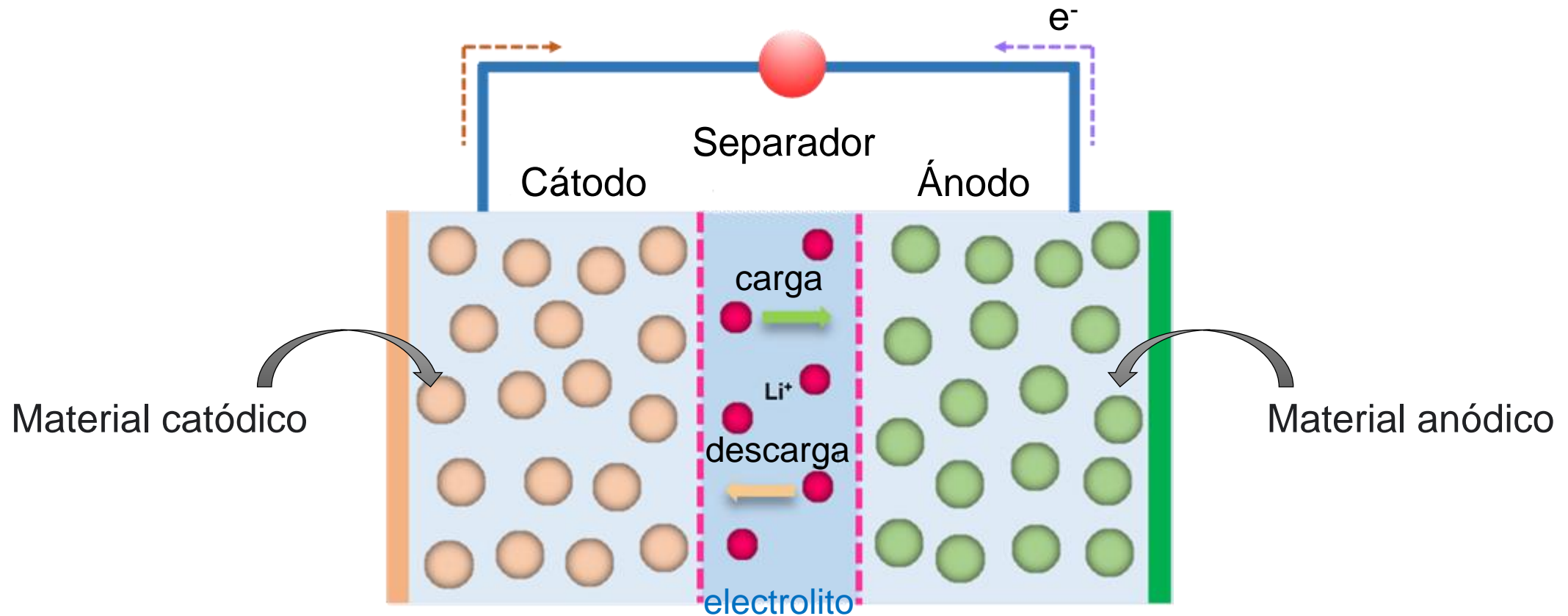
INTRODUCCION



Según la convención, en una batería secundaria, el cátodo es el electrodo positivo y el ánodo el electrodo negativo.

INTRODUCCION

Principio de funcionamiento de una batería de ion litio





INTRODUCCION

Importancia del material catódico:



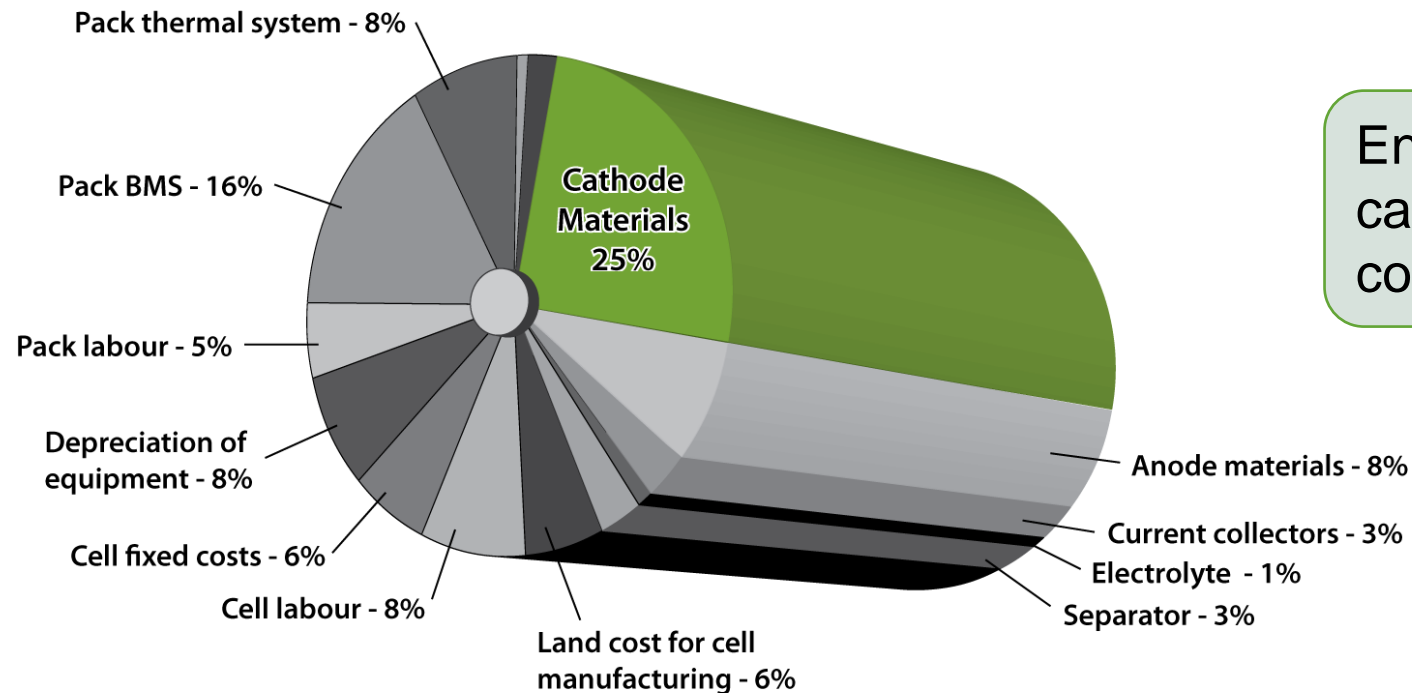
El precio del material catódico representa una parte importante del costo de la celda.



El material catódico define (en gran medida) el rendimiento intrínseco del material del cátodo (densidad de potencia, densidad de energía, reversibilidad electroquímica, resistencia a la temperatura, etc.), que determina el comportamiento en servicio de la batería.

INTRODUCCION

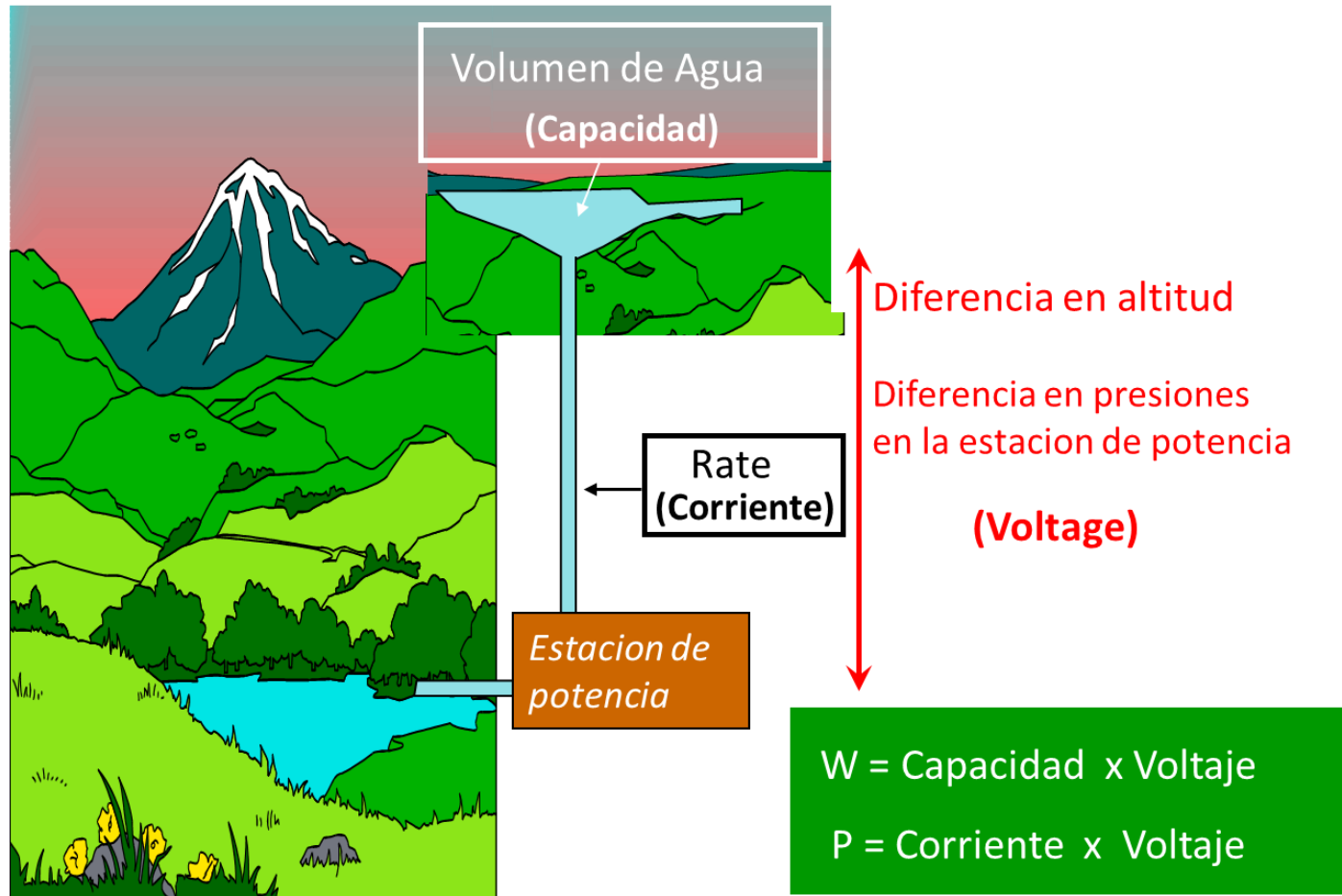
Desglose del costo de una batería de ion litio



Source: Lux Research

En términos de materiales, el material catódico puede llegar al 50 % del costo total.

INTRODUCCION



Capacidad:	mAh
Voltaje:	V
Potencia:	W
Energía:	Wh

INTRODUCCION

Las características están directamente relacionadas con el peso de la batería



Potencia específica: W / kg
Potencia volumétrica: W / m^3



Aceleración

(Recuperación de energía en la frenada)

Energía específica : $W.h / kg$



Rango

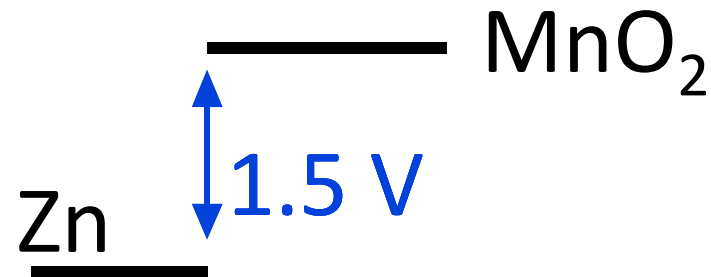
Dependiendo del uso, prevalecen las características volumétricas o específicas



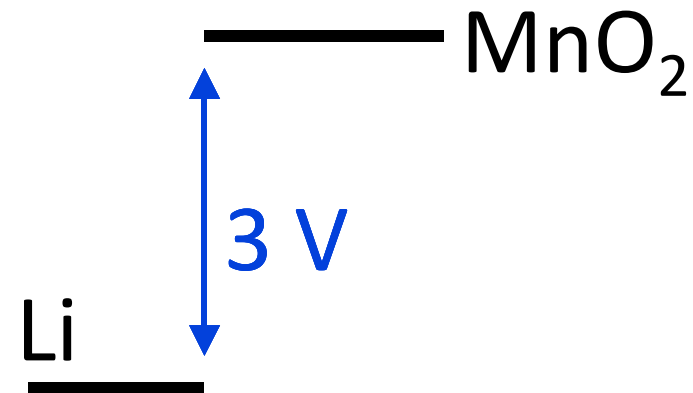
INTRODUCCION

El voltaje de la celda está directamente relacionado con la diferencia entre el potencial redox de los 2 electrodos.

Batería primaria alcalina
Zn // MnO₂



Batería primaria
de litio Li // MnO₂



El litio es más reductor que el zinc, por lo tanto, el voltaje es el doble

INTRODUCCION

Sistemas reales:

Pb - PbO ₂	2 V	30 - 40 Wh/kg	Batería plomo acido
Ni - MH	1,2 V	70 - 75 Wh/kg	Batería níquel metal hidruro
C - LiCoO ₂	3,9 V	120 - 140 Wh/kg	Batería de ion litio
C - Li(Ni,M)O ₂	4,0 V	140 - 180 Wh/kg	Batería de ion litio

Hoy en día, el valor asintótico está cerca de: ~ 200 – 250 Wh/kg



GENERALIDADES

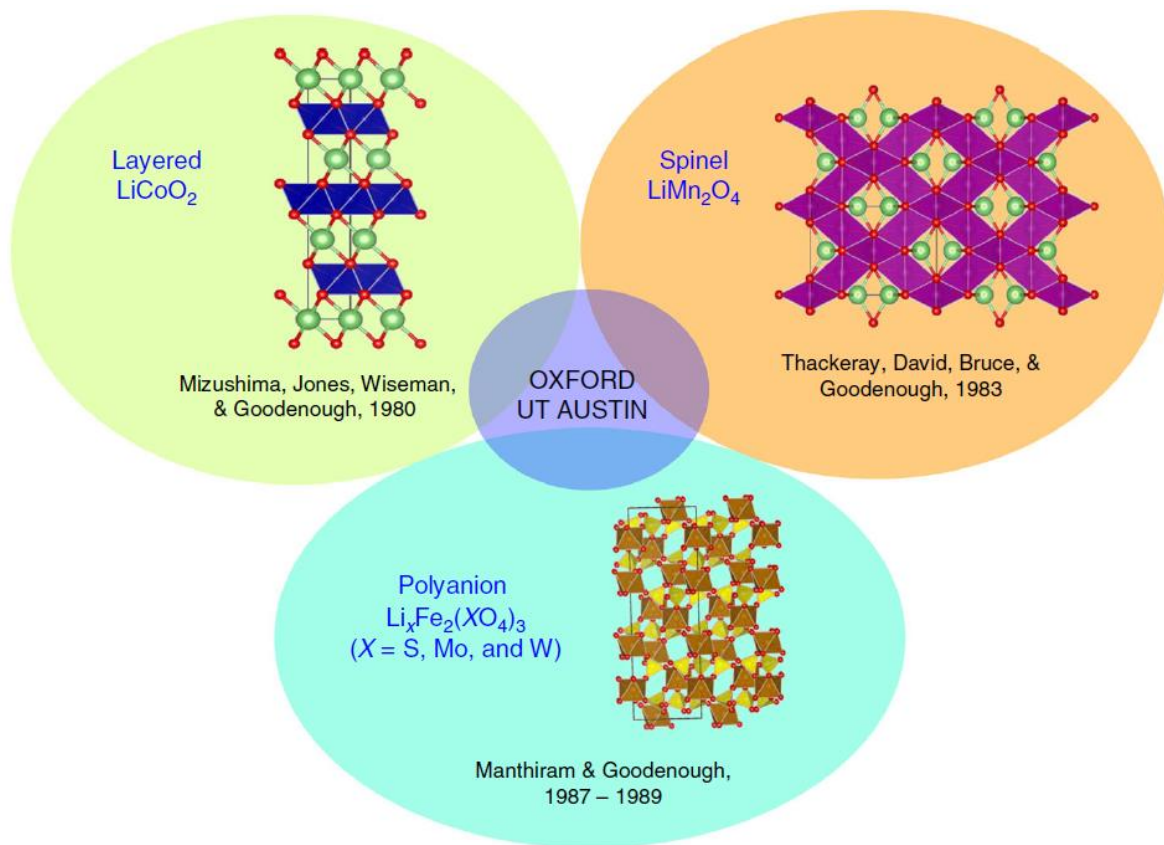


ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE
HIDROCARBUROS Y ENERGÍAS

GENERALIDADES

Familias de materiales catódicos para baterías de ion litio:



Estos compuestos pertenecen a tres familias cristalográficas diferentes que les confieren propiedades especiales:

- Espinelas
- Óxidos laminares (en capas)
- Olivinos

GENERALIDADES

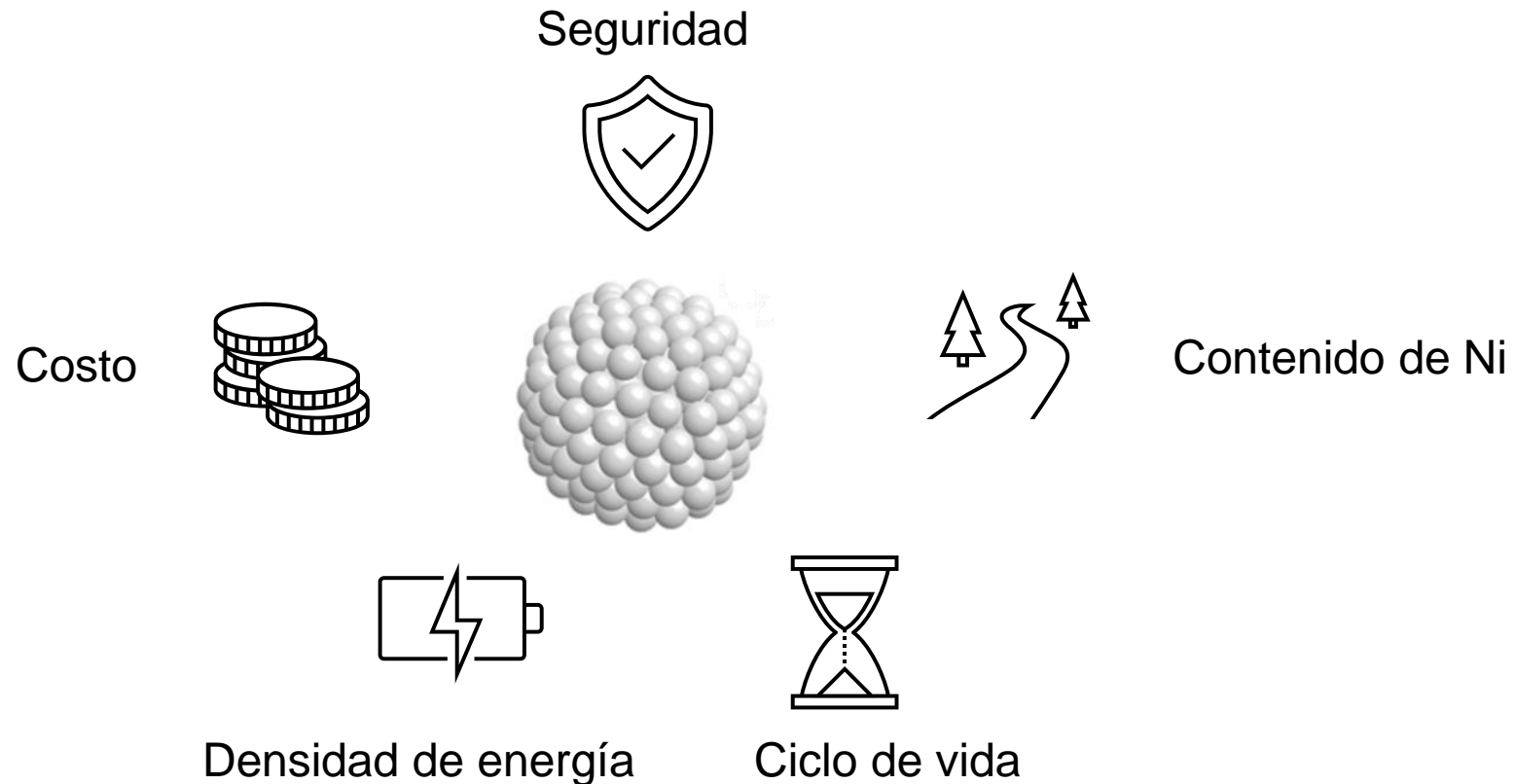
Actualmente, existen cinco (familias de) tecnologías de baterías de iones de litio, siendo la principal diferencia entre ellas la composición del cátodo:

- Óxido de litio y cobalto (LCO)
- Óxido de litio de litio, níquel, manganeso y cobalto (NMC)
- Óxido de litio de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA)
- Fosfato de hierro litio (LFP)
- Óxido de manganeso litio (LMO)

Más allá de 2030, se espera que estos tipos de baterías de iones de litio sean reemplazados por baterías de nueva generación, como litio-aire y litio-azufre, que pueden contener materiales activos muy diferentes, pero aún requerirán litio.

GENERALIDADES

Métricas clave de los materiales catódicos:



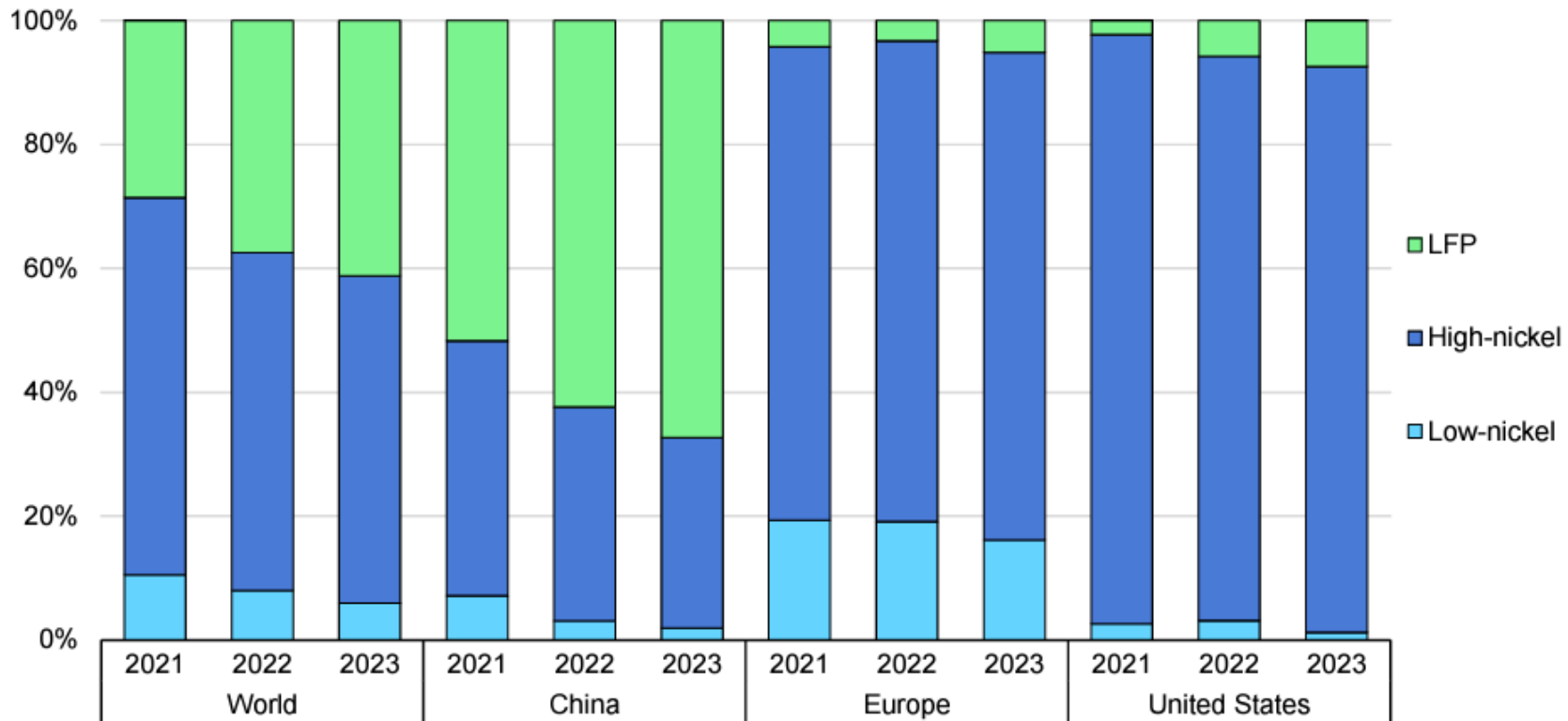
GENERALIDADES

■ strong
 ■ moderate
 ■ weak

Material	Description	Safety	Cost (US\$/kWh)	Energy density (kWh/kg)	Cycle life ^d (times)	Ni content (kg/kWh)
LCO (LiCoO ₂)	Mostly used in consumer electronics. Limited application for xEVs ^b (e.g. Tesla).	Low	Low	0.58	1,500–2,000	0.0
NMC ^a (LiNi _x Co _x Mn _x O ₂)	Used mainly in consumer electronics but increasingly used in xEVs.	Mid	Mid	0.60	2,000–3,000	0.69 51 wt%
LMO (LiMn ₂ O ₄)	Relatively mature technology. Used in xEVs by Japanese OEMs (e.g. Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV, Chevrolet Volt).	High	High	0.41	1,500–3,000	0.0
LFP (LiFePO ₄)	Relatively new technology used in xEVs and ESS. ^c Driven by A123 Systems and Chinese manufacturers (e.g. BYD, STL).	Very high	High	0.53	5,000–10,000	0.0
NCA (LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂)	Used mostly in consumer electronics (often blended with other chemistries) and e-vehicles (e.g. Tesla)	Mid	Mid	0.72	n/a	0.68 (49 wt%)

GENERALIDADES

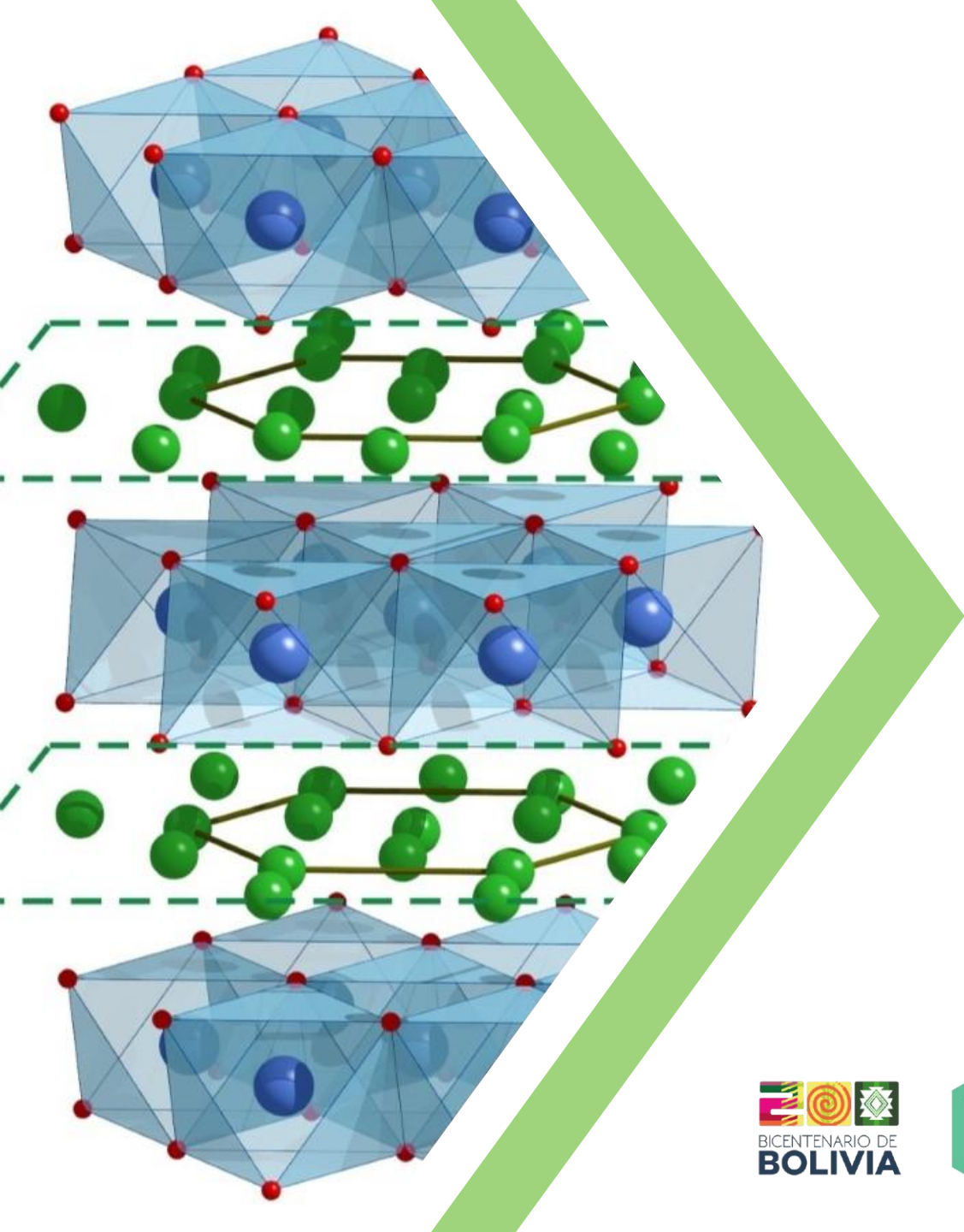
Uso de materiales activos en baterías comerciales



GENERALIDADES

- BASF SE
- Himadri Speciality Chemical Ltd
- Ibu-tec
- LANDF CORP
- LG Chem
- Nichia Corporation
- Nippon Chemical Industrial Co., Ltd.
- POSCO Holdings.
- Shenzhen Dynanonic Co., Ltd .
- Sumitomo Metal Mining Co. Ltd
- Targray
- Umicore





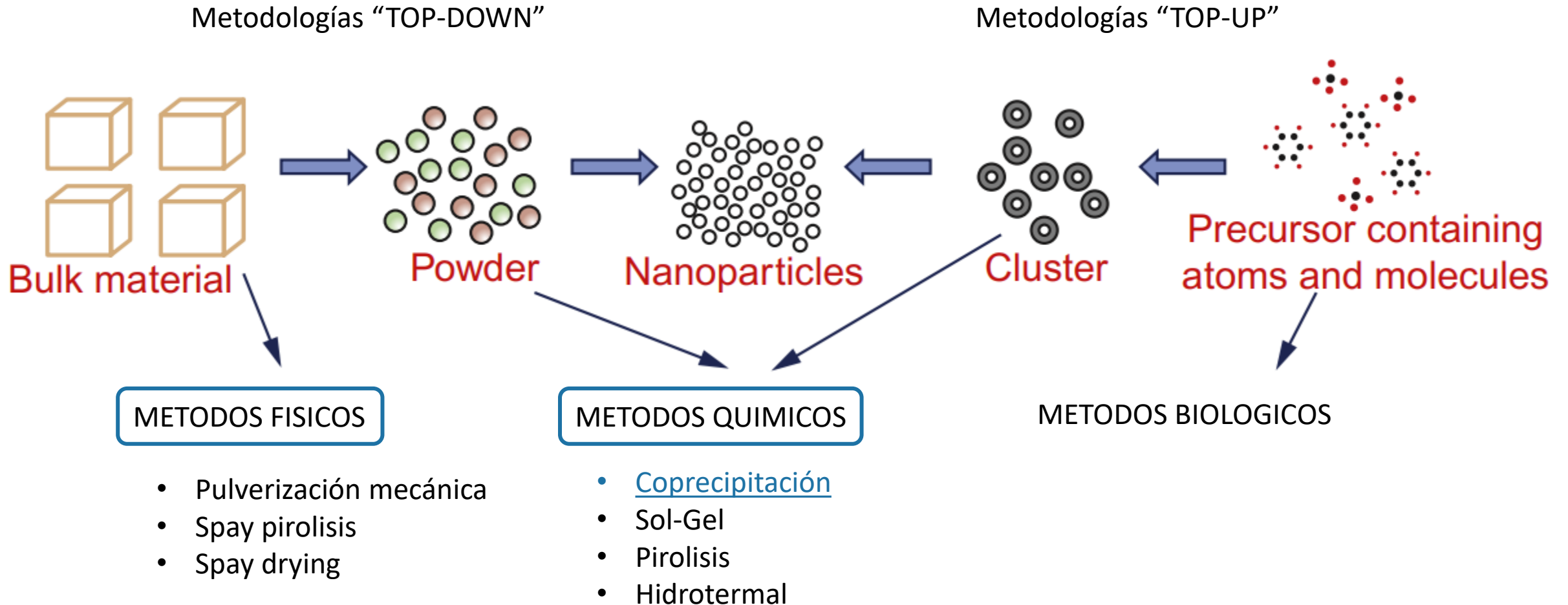
SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

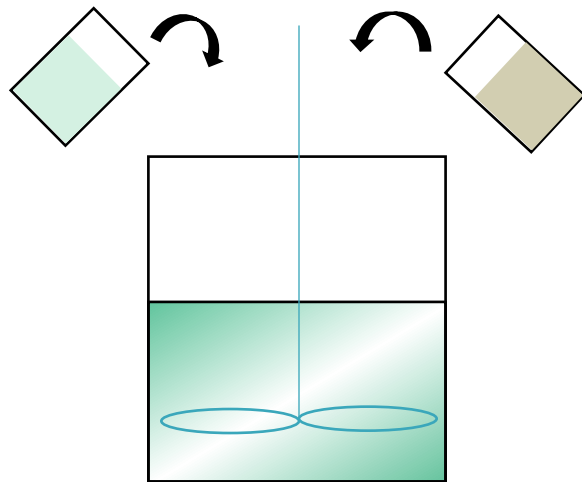
MINISTERIO DE
HIDROCARBUROS Y ENERGÍAS

SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS

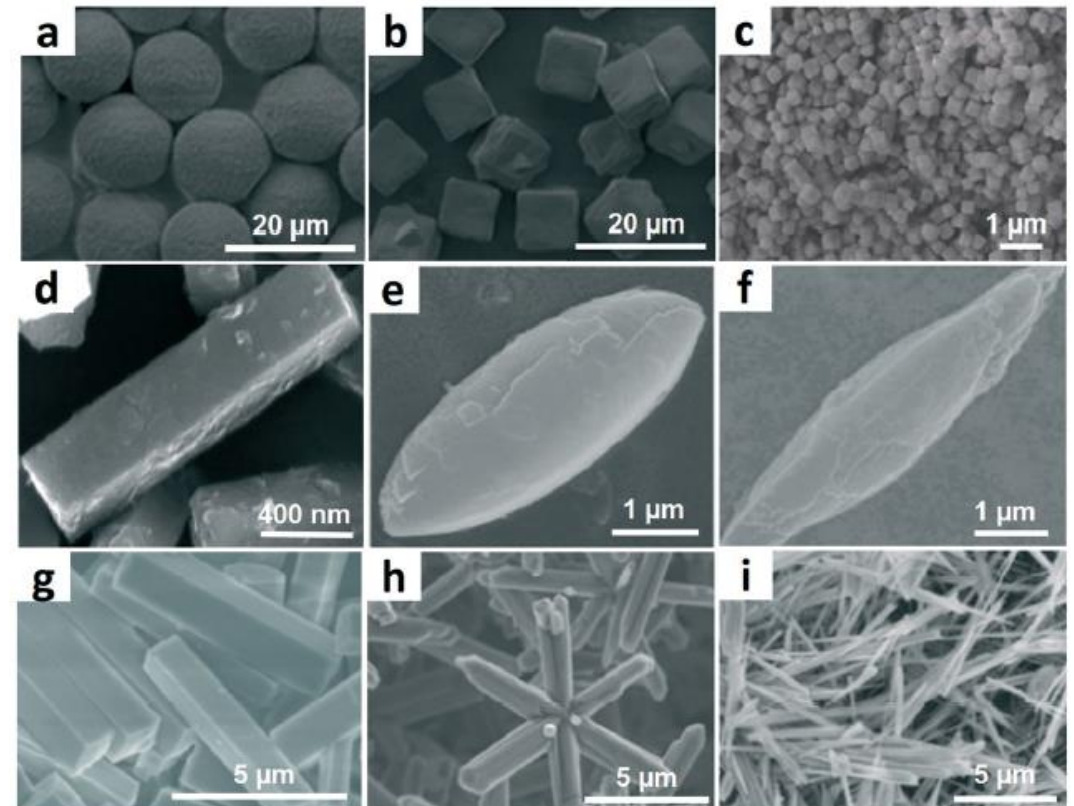


SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS

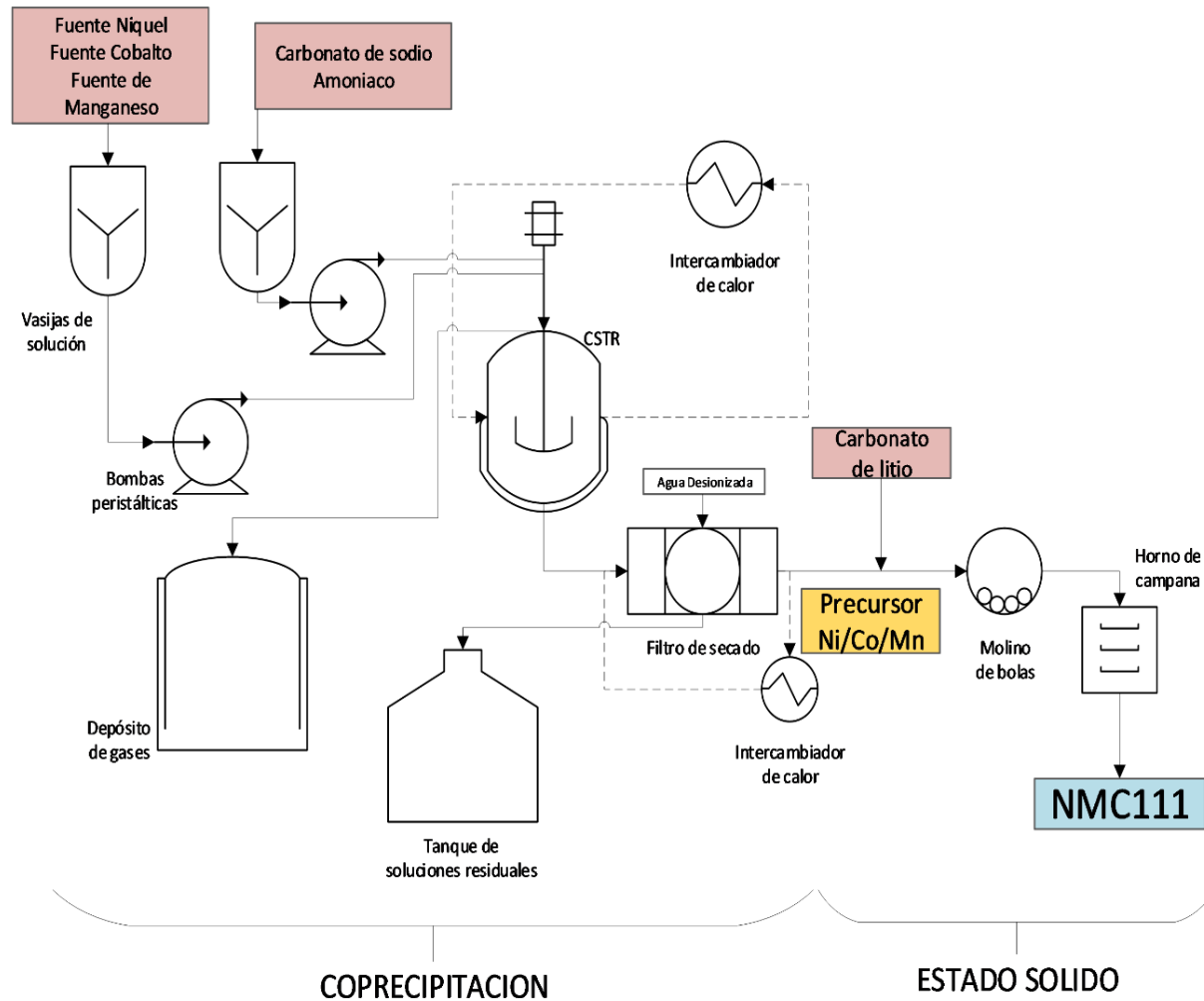
Método de coprecipitación:



Reacción de coprecipitación



SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS



Sistemas de reacción de coprecipitación con control en:

- Alimentación de precursores
- Regulación de pH
- Regulación de temperatura
- Velocidad de agitación

SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS

¿Cómo saber si el material está bien elaborado?

Análisis & caracterización

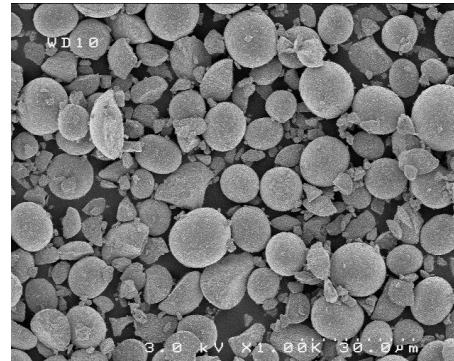
Microscopio Electrónico:

A simple vista

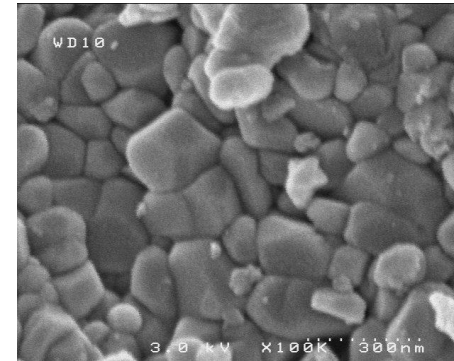


6 cm

De Barrido

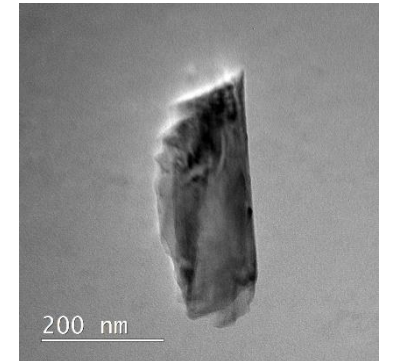


60 μm



600 μm

De Transmisión

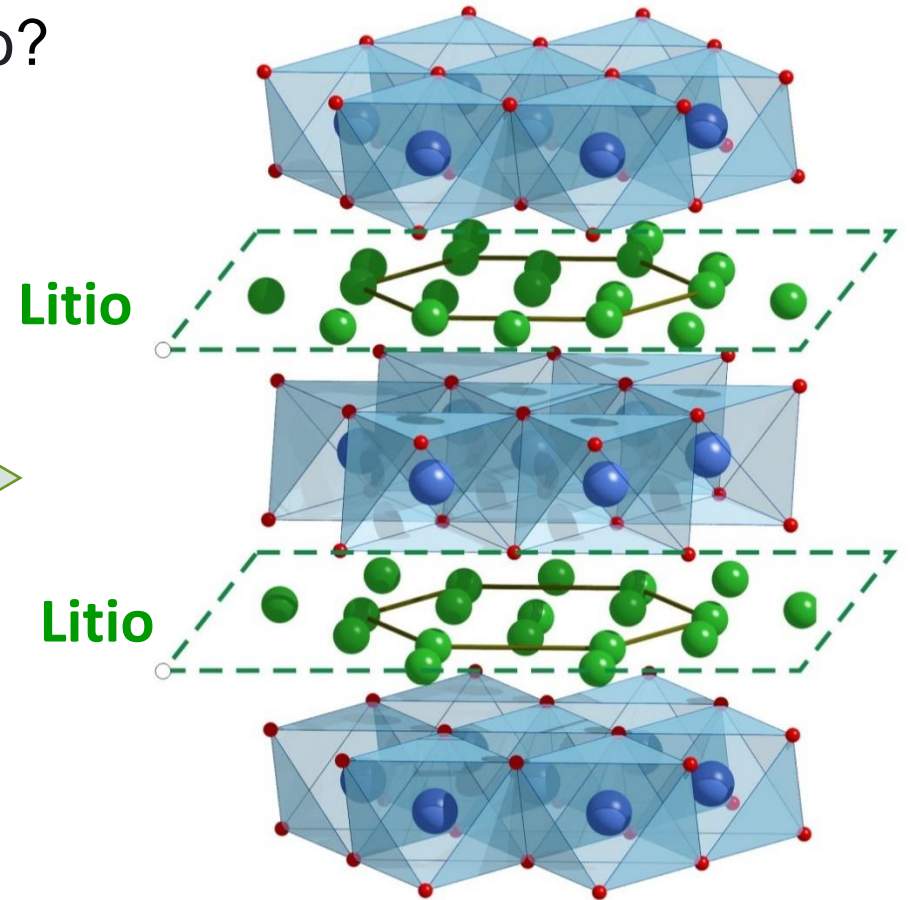
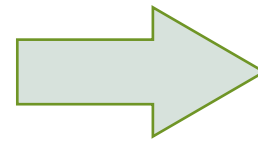
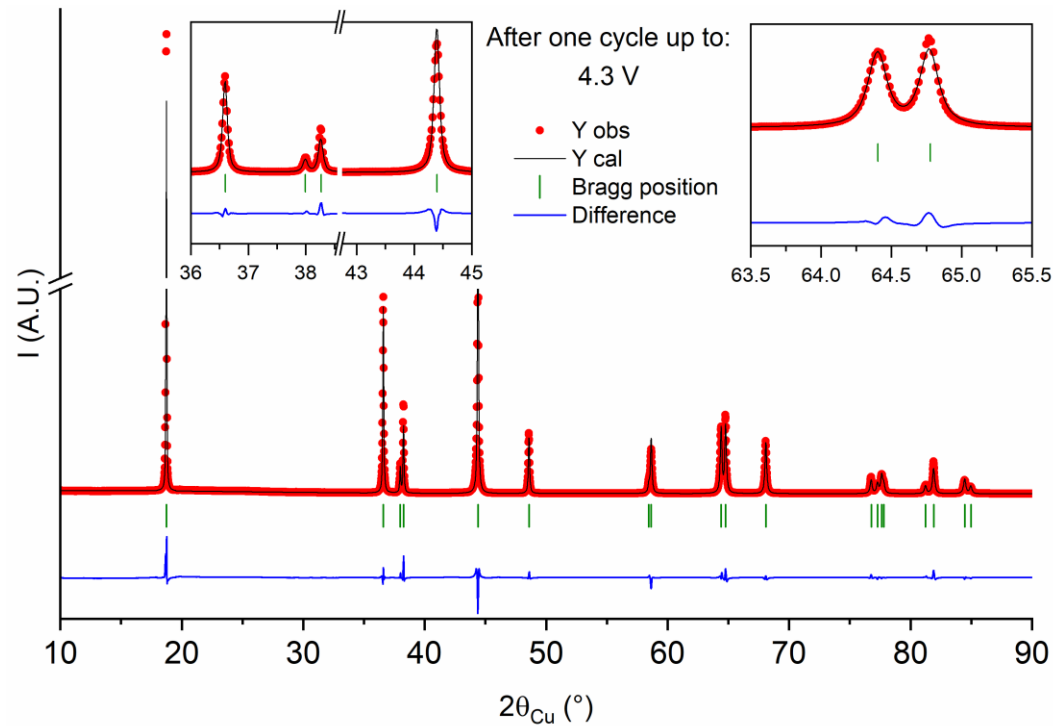


200 nm

SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS

¿Cómo saber si el material está bien elaborado?

Estructura cristalina:





PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATODICOS DE YLB



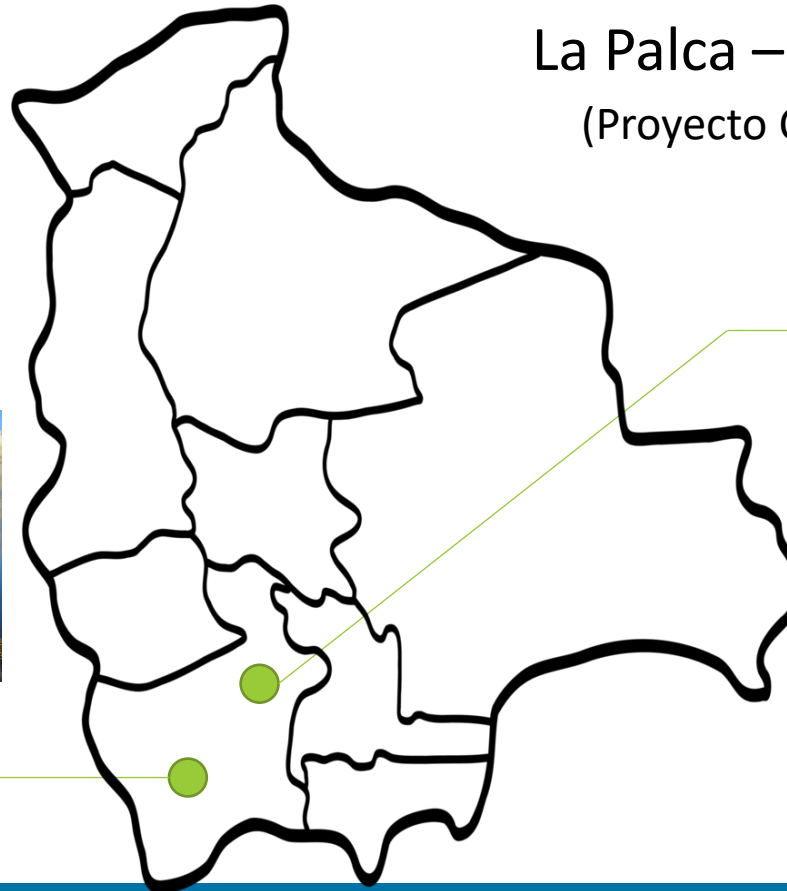
ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE
HIDROCARBUROS Y ENERGÍAS

PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATODICOS DE YLB



Llipi – Uyuni – Potosí



La Palca – Potosí
(Proyecto CIDYP)



Planta Piloto de Baterías (2014)



Planta Piloto de Materiales Catódicos (2017)



CICYT MAR REB (2021)

PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATODICOS DE YLB



Datos clave:

- ✓ Inaugurado el año 2017
- ✓ Línea de síntesis de NMC
- ✓ Línea de síntesis de LMO
- ✓ Capacidad > 2 kg/lote
- ✓ Laboratorios de control de calidad (físicoquímico y electroquímico)

PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATODICOS DE YLB



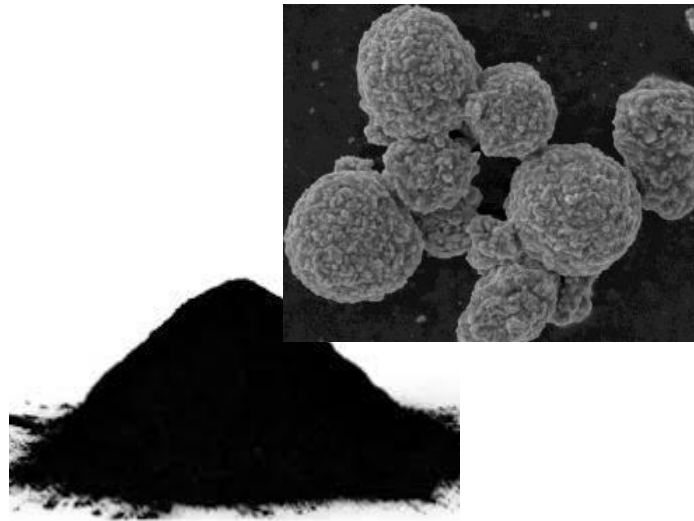
PLANTA PILOTO DE MATERIALES CATODICOS DE YLB

Productos



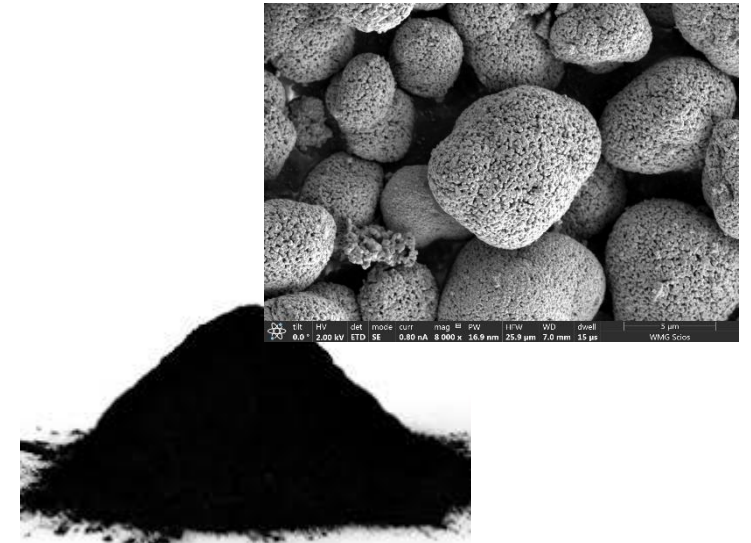
Li_2CO_3 grado batería

- Micronizado
- Pureza mínima 99,5%



CAM: NMC622

- Capacidad específica 160 mAh/g (a 1C)



CAM: NMC111

- Capacidad específica 140 mAh/g (a 1C)



GRACIAS POR SU ATENCION

