



**VIII** CONGRESO  
INTERNACIONAL

Incorporación de **BATERÍAS** en el  
dimensionamiento de los sistemas,  
**una realidad que no se puede aplazar**



# Evolución y diferencias en tecnologías de almacenamiento energético con baterías

Michel Castro Arango


Ingeniero Electricista e Industrial



**USA**  **TECH**™

# CONTENIDO

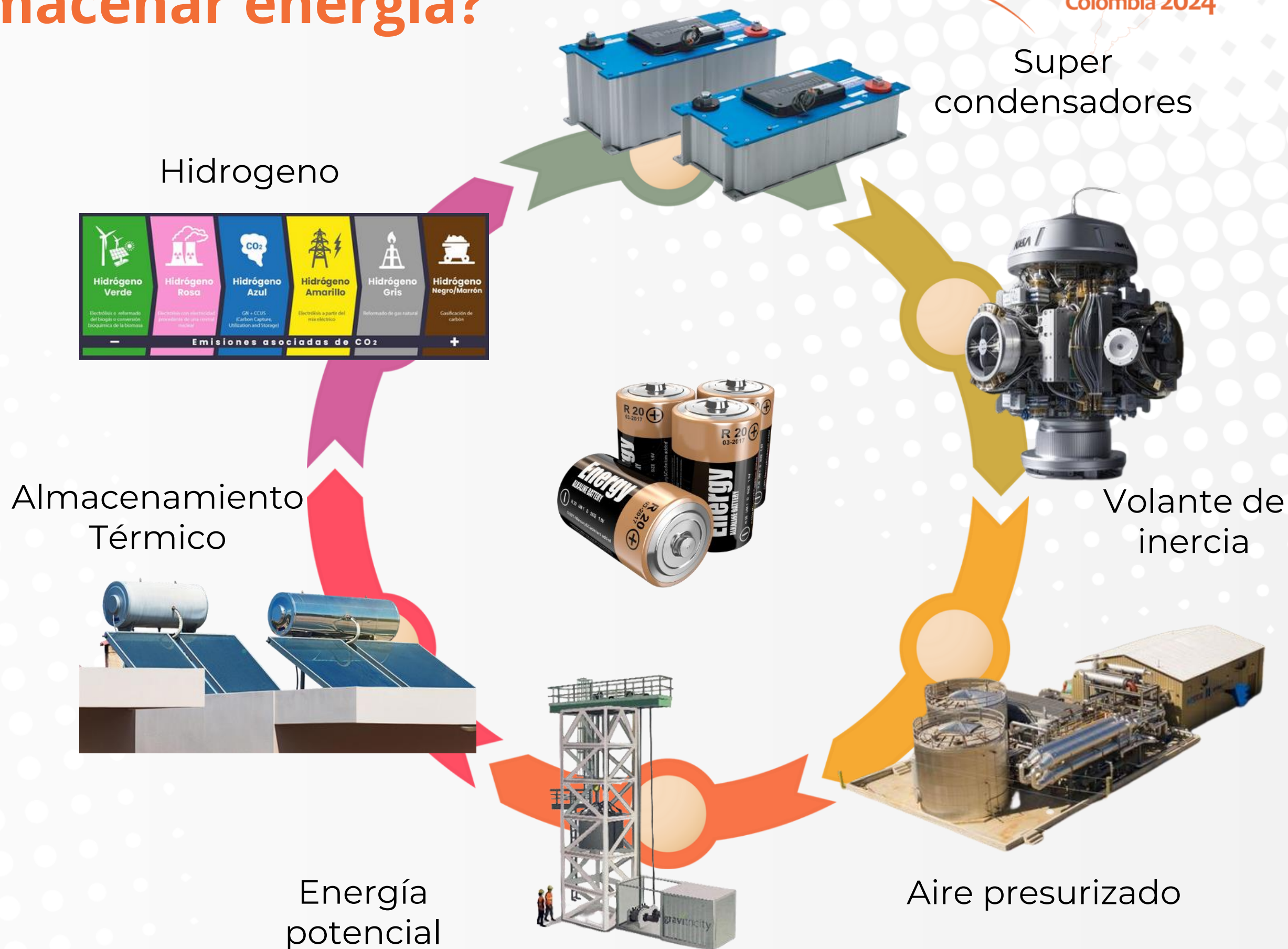
1. Cómo es posible almacenar energía.
2. Historia de las baterías.
3. Tipos y características de las baterías.
4. Mercado de las baterías.
5. Tipos de baterías de Litio y sus aplicaciones.
6. Ejemplos prácticos o casos de éxito.
7. Nuevos desarrollos.
8. Conclusiones.



¿Cómo es posible  
almacenar  
energía?

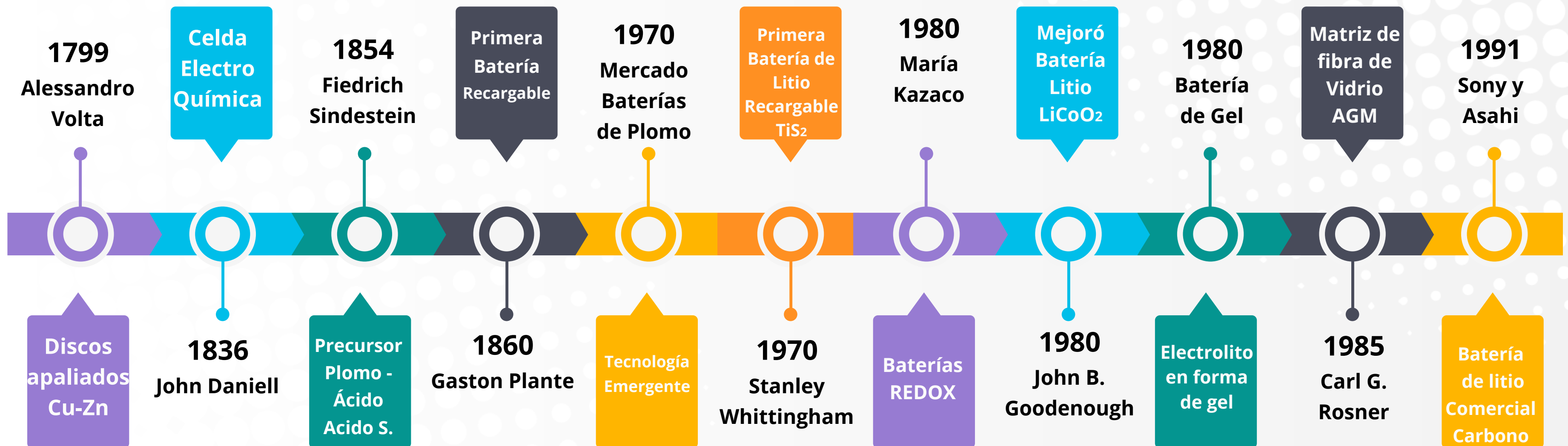
# ¿Cómo es posible almacenar energía?

Es necesario almacenar energía eléctrica para garantizar el funcionamiento de equipos, respaldar equipos en caso de indisponibilidad o almacenar energía debido a la intermitencia del suministro.

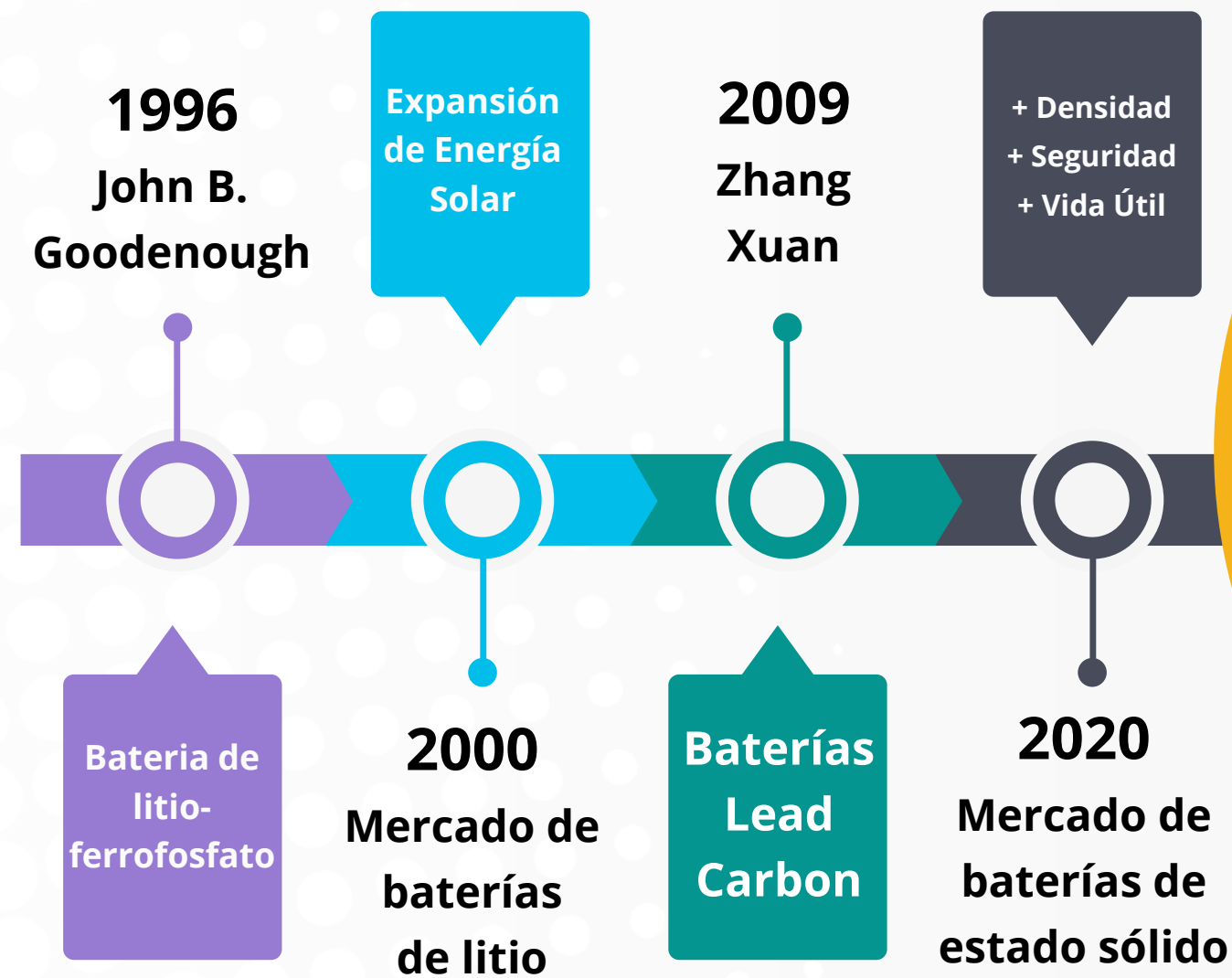


# Historia de las baterías en sistemas fotovoltaicos

# Historia de las baterías en sistemas fotovoltaicos



# Historia de las baterías en sistemas fotovoltaicos



Batería de litio comercial



# Tipos y características de las baterías



# Baterías de plomo ácido

## Pb/PbO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

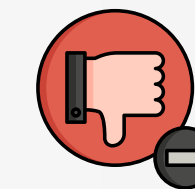


Representan aproximadamente el 30% del mercado de baterías a nivel mundial, su importancia radica en el bajo costo de producción y mantenimiento.



### Ventajas

- Bajo costo
- Variedad
- Mantenimiento
- Reciclaje
- 30 a 40 Wh/kg



### Desventajas

- Baja Densidad
- Poca Vida útil
- 50-500 ciclos

# Batería de gel de plomo-ácido



## Ventajas

- Libre Mantenimiento
- Menos fugas y derrames
- Resiste más vibraciones
- Descargas profundas y Tasa de auto-descarga más baja
- 30 – 50 Wh/kg



## Desventajas

- Más costosas
- Tasa descarga más lenta
- Daños irreversibles
- Climas Fríos
- 500 a 1200 ciclos

Representan menos del 10 % del mercado global de baterías

# Batería AGM de plomo-ácido



**Representan menos del 10 % del mercado global de baterías**



## Ventajas

- Sin mantenimiento regular
- Menos fugas y derrames
- Resiste más vibraciones
- Operan bien en sitios de altas temperaturas
- 30 – 50 Wh/kg



## Desventajas

- Más costosas
- Tasa descarga más lenta
- Más pesadas y más voluminosas
- 500 -1200 ciclos

# Baterías de Plomo carbono



Representan menos del 5 % del mercado global de baterías



## Ventajas

- Resistencia a sulfatación
- Más eficiencia en ciclos de carga
- Mejor desempeño en descargas profundas
- Mayor tolerancia a temperaturas extremas
- 30 – 50 Wh/kg



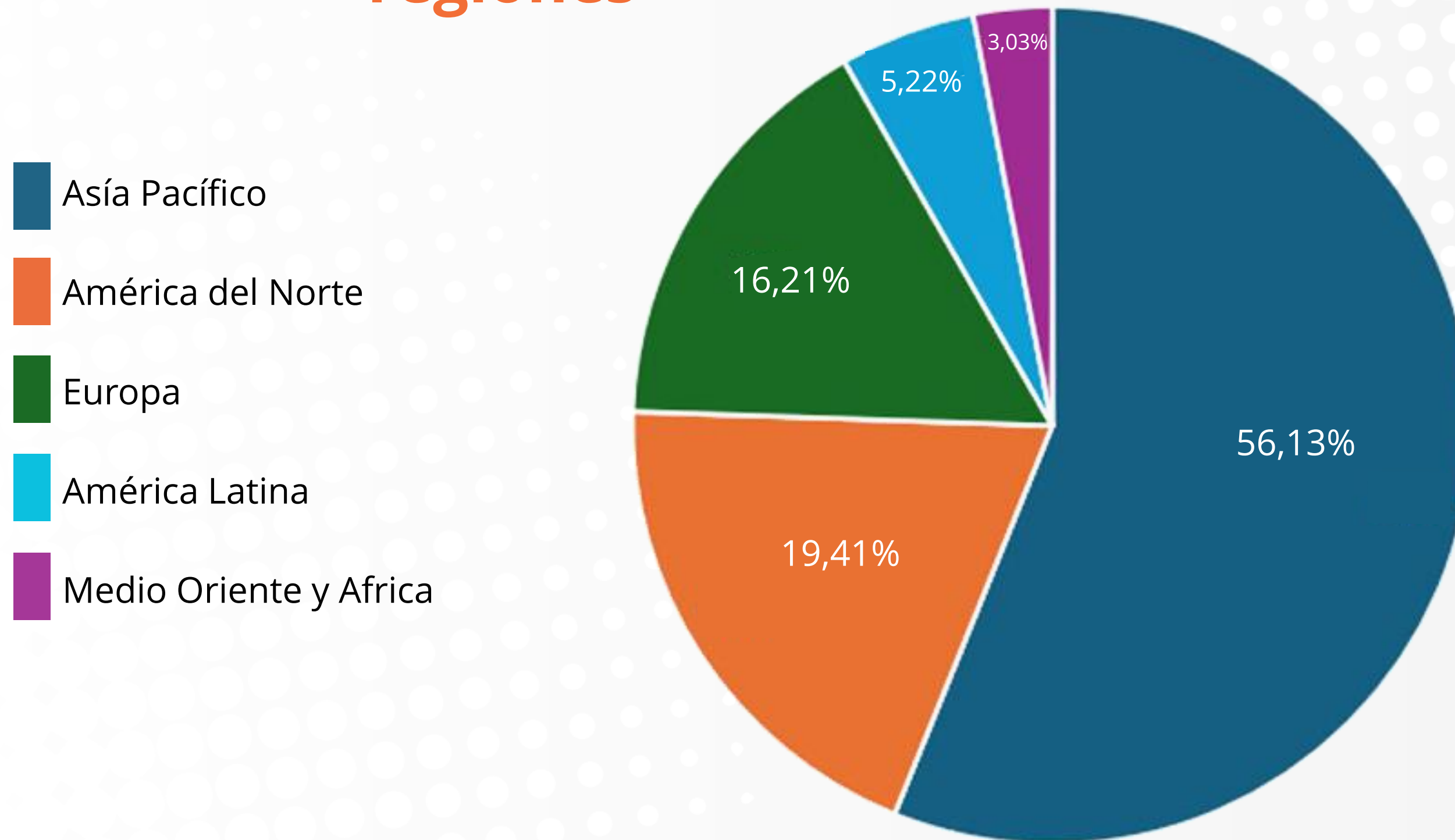
## Desventajas

- Más costosas que Baterías de Plomo-Ácido
- Ciclo inferior a baterías de Iones Litio
- 3000 a 4000 ciclos

# Mercado de las baterías



# El mercado de las baterías por regiones



Cuota de Mercado de Baterías, por Región 2023 (%)



# Reducción de costos de fabricación y aumento en la densidad de energía

Costo de Batería,

\$/kWh

9,000

8,000

7,000

6,000

5,000

4,000

3,000

2,000

1,000

0

1991

1995

2000

2005

2010

2015

2020

2023

Los costos siguen cayendo...

Densidad de energía de la batería de primer nivel,

Wh/kg

500

450

400

350

300

250

200

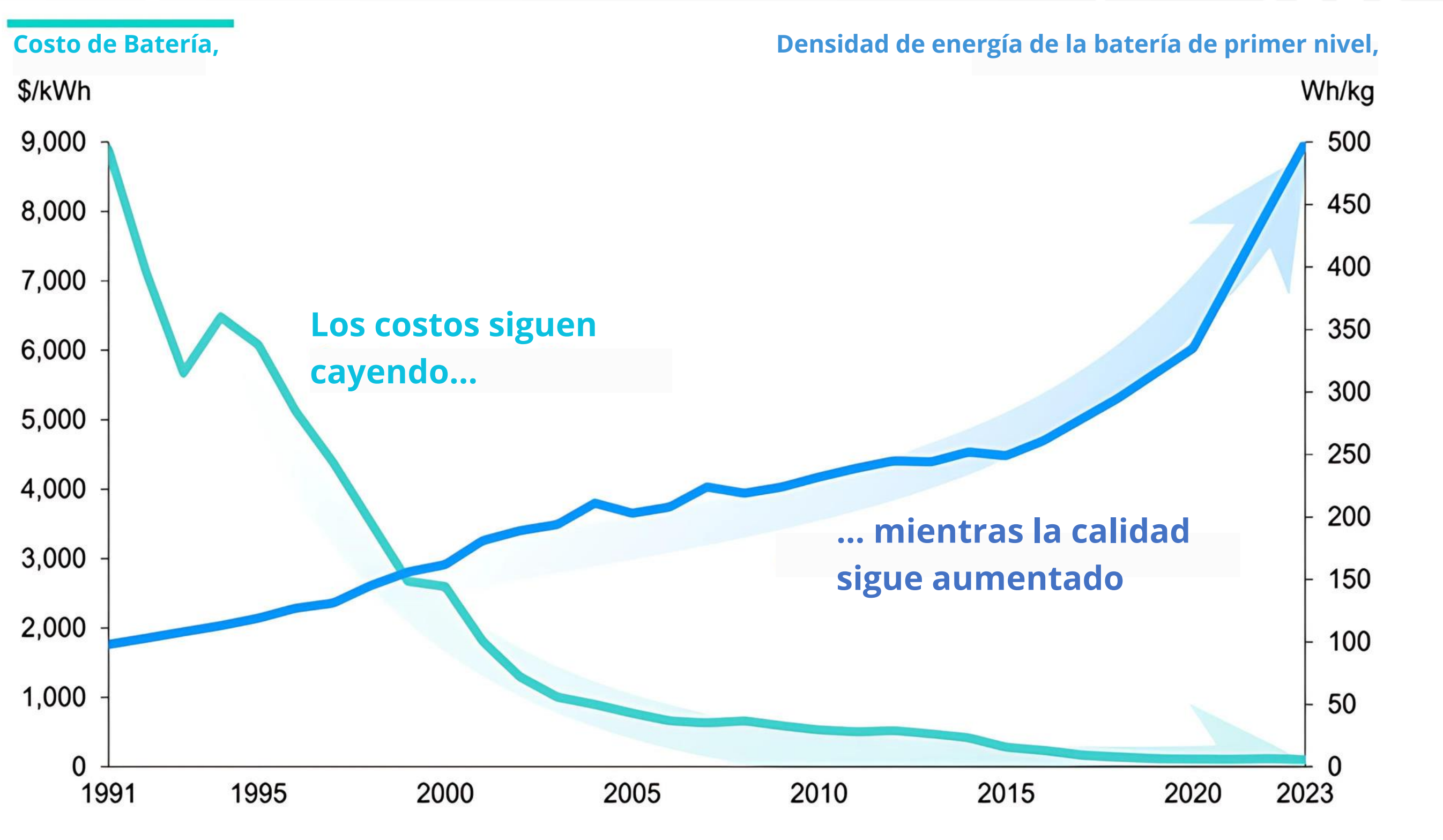
150

100

50

0

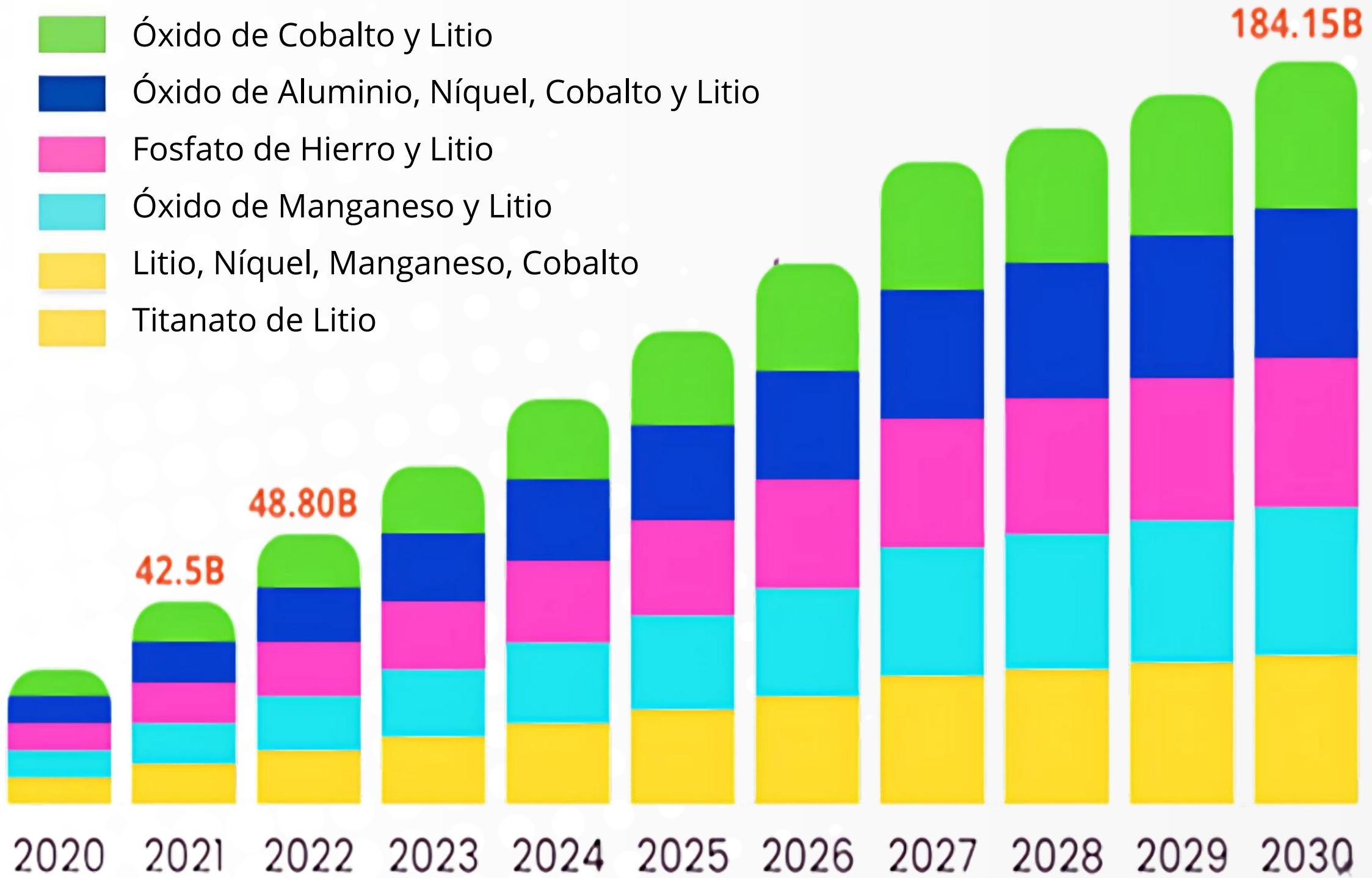
... mientras la calidad sigue aumentando





# Porcentajes del mercado de baterías:

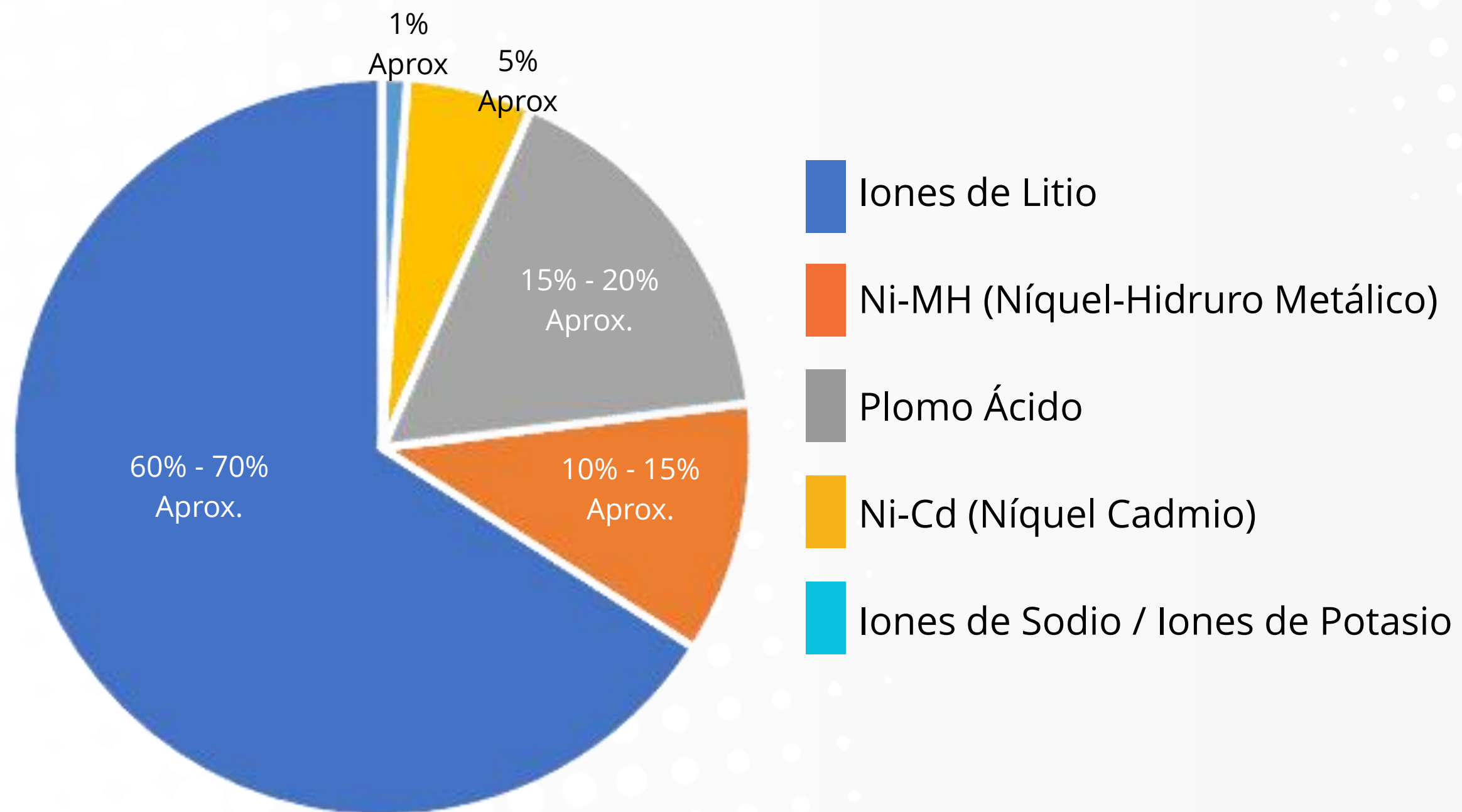
Mercado de Baterías de Iones de Litio, 2020 - 2030 (USD Billones)



**Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (CAGR) del Mercado de Baterías de Iones de Litio**  
**18,5%**  
**2022 - 2030**

Fuente:

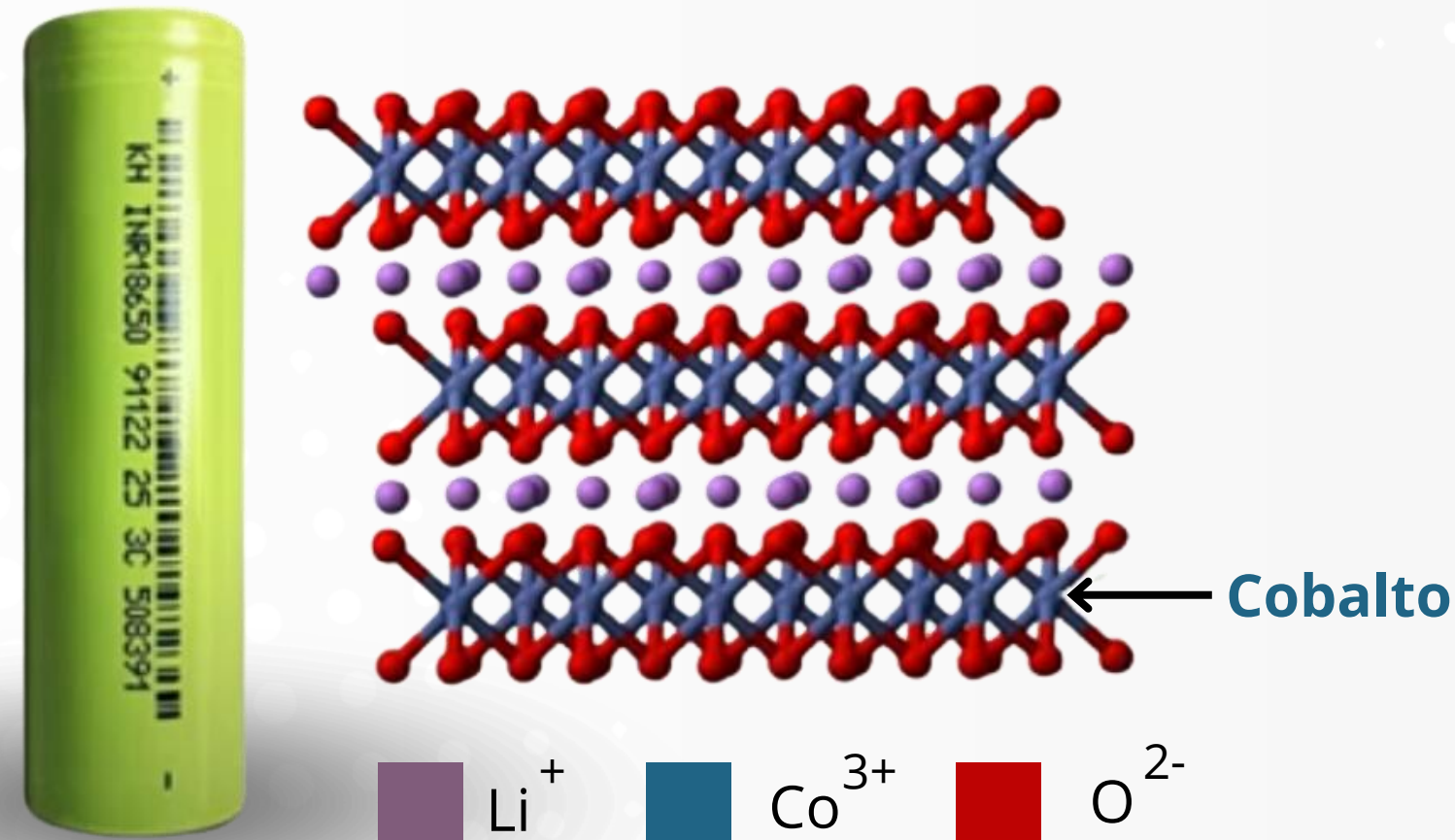
# Tipos de Baterías en el Mercado Global



# Tipos de baterías de litio y sus aplicaciones

Lithium

# Óxido de Cobalto y Litio (LCO)- $\text{LiCoO}_2$

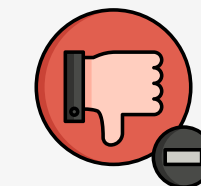


**Su densidad de energía es de  
150 a 240 Wh/kg.  
500 -1000 ciclos.**



## Ventajas

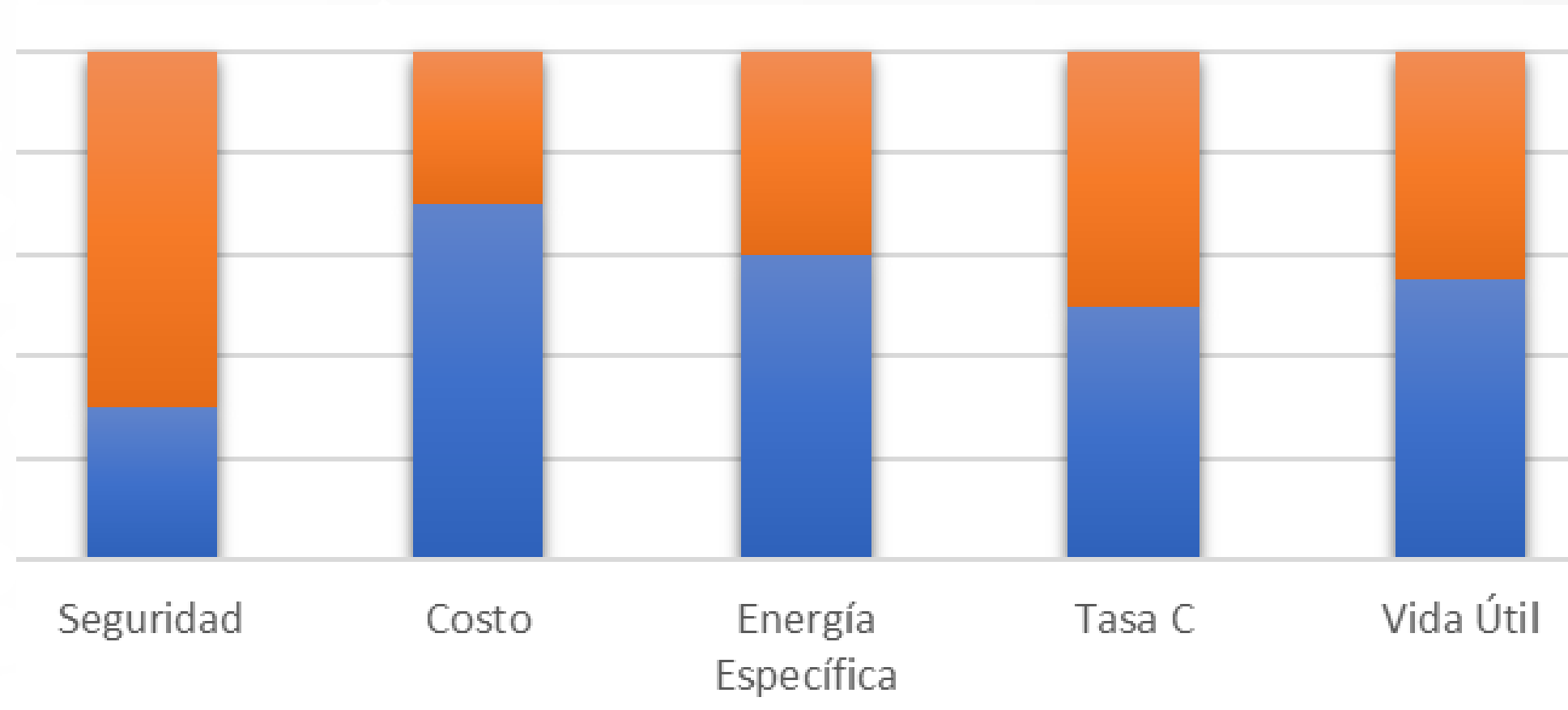
- Mayor densidad de energía
- Voltaje Nominal Alto
- Óptimas para Dispositivos Pequeños



## Desventajas

- Materiales costos y no biodegradables
- Vida útil corta
- Menor estabilidad térmica
- No soporta tasa de descarga alta

# Óxido de Cobalto y Litio (LCO)- $\text{LiCoO}_2$

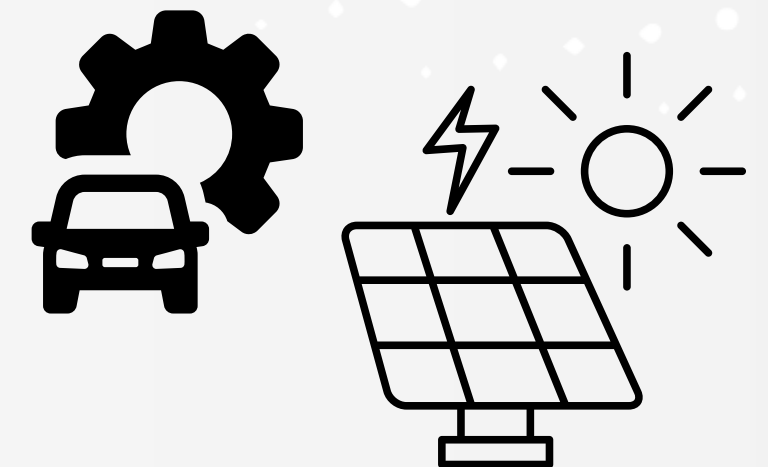


Las baterías de litio con química LCO son las menos recientes, se utilizan principalmente para dispositivos electrónicos y aplicaciones móviles, y constan de un cátodo de óxido de cobalto (electrodo positivo) y un ánodo de carbono de grafito (electrodo negativo).

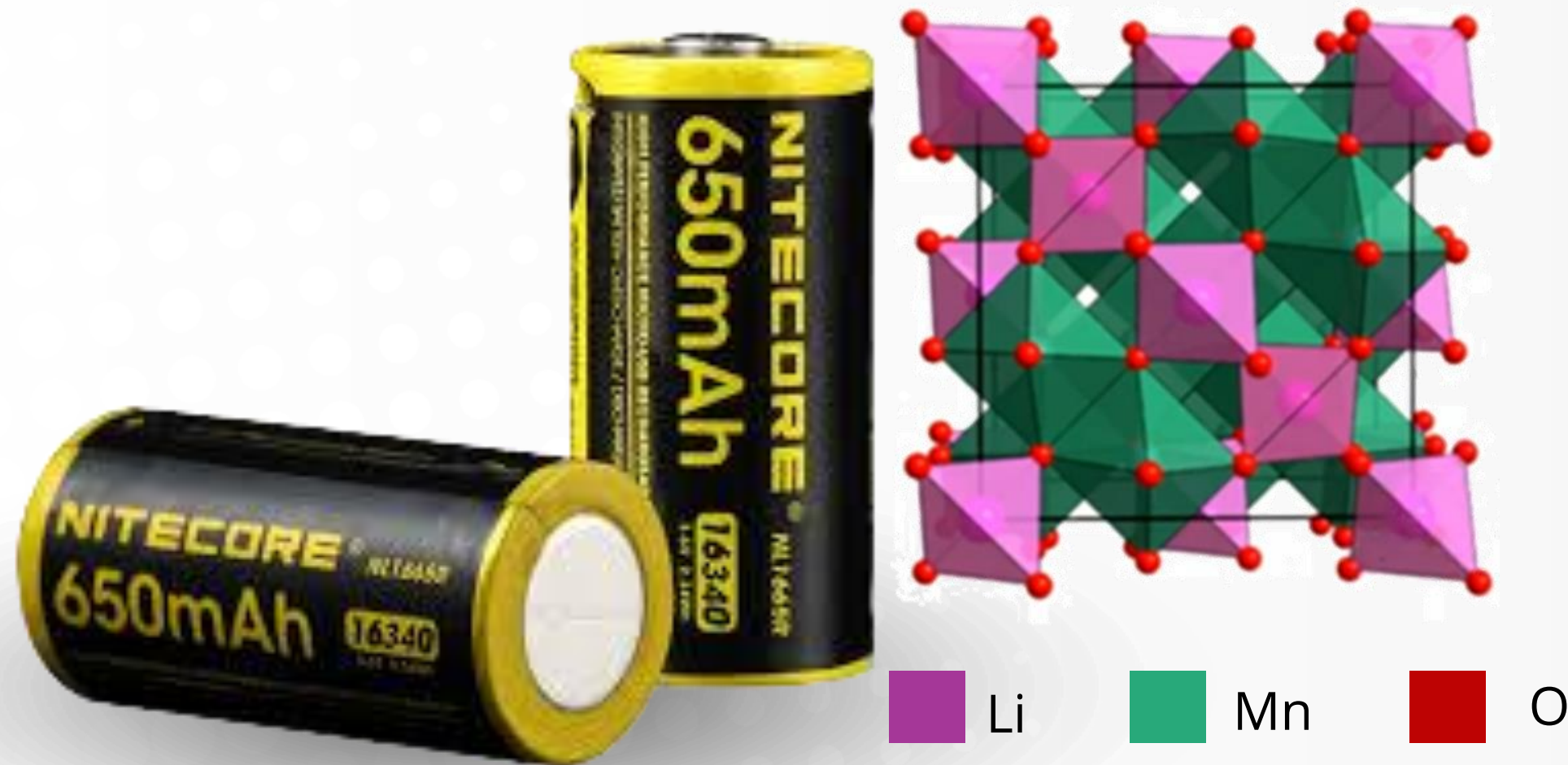
## Aplicaciones



## Participación



# Óxido de Manganeso y Litio (LMO)



**Su densidad de energía es de  
100 a 150 Wh/kg.  
300-700 ciclos.**



## Ventajas

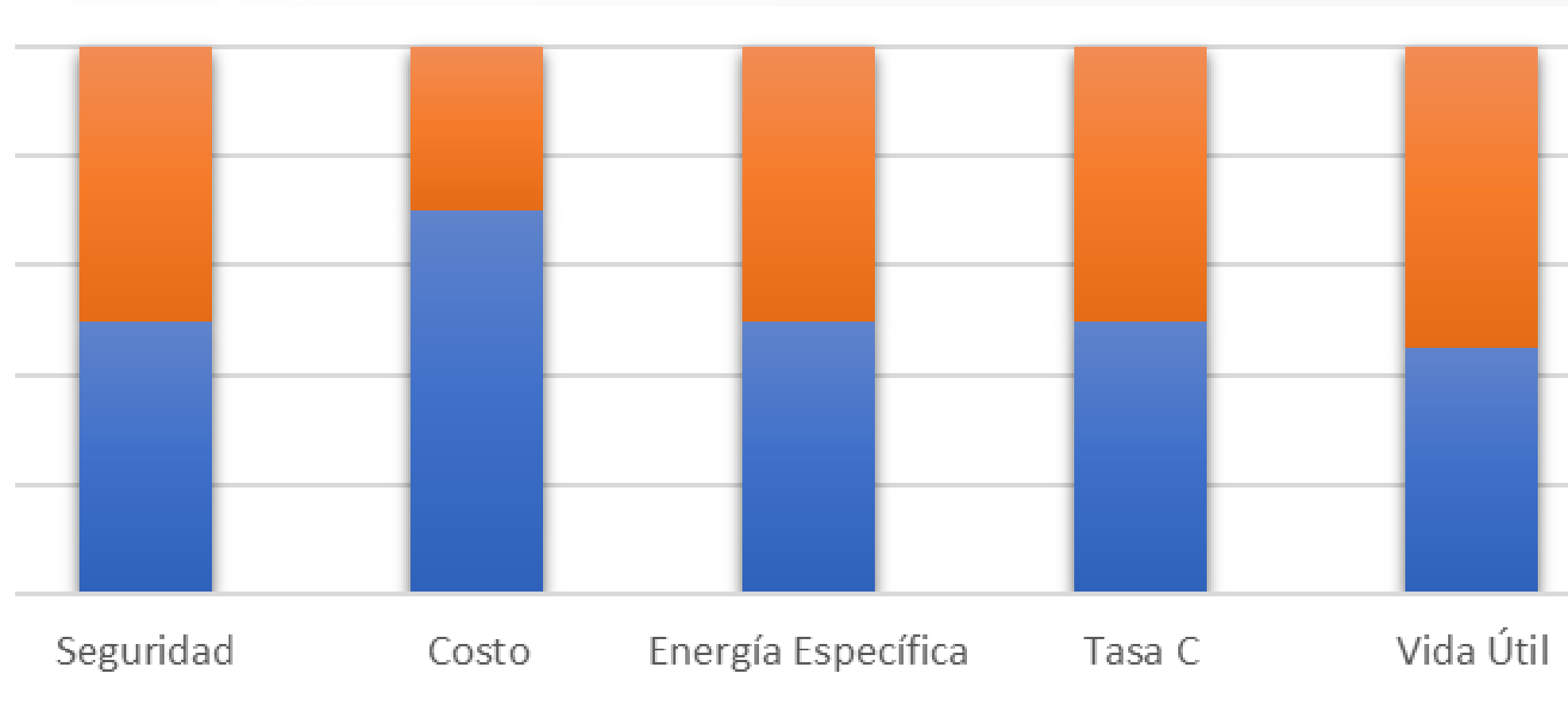
- Menor recalentamiento
- Estabilidad térmica
- Buen rendimiento ciclos de carga y descarga
- Descargas rápidas
- Reducción de costos
- No tóxicas



## Desventajas

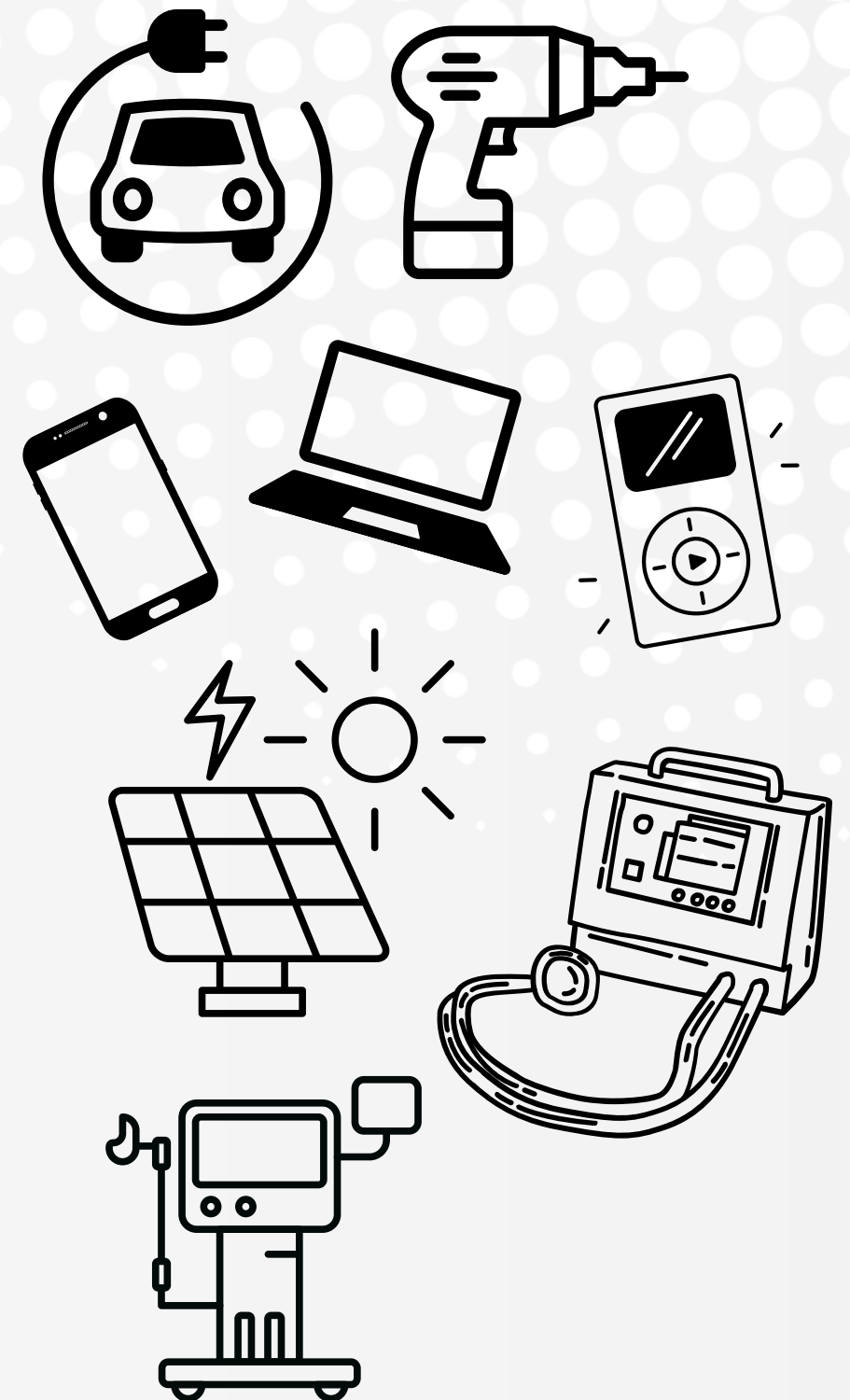
- Menor densidad de energía
- Disminución de capacidad
- Menor vida útil
- Rinde menos a altas temperaturas

# Óxido de Manganeso y Litio (LMO)

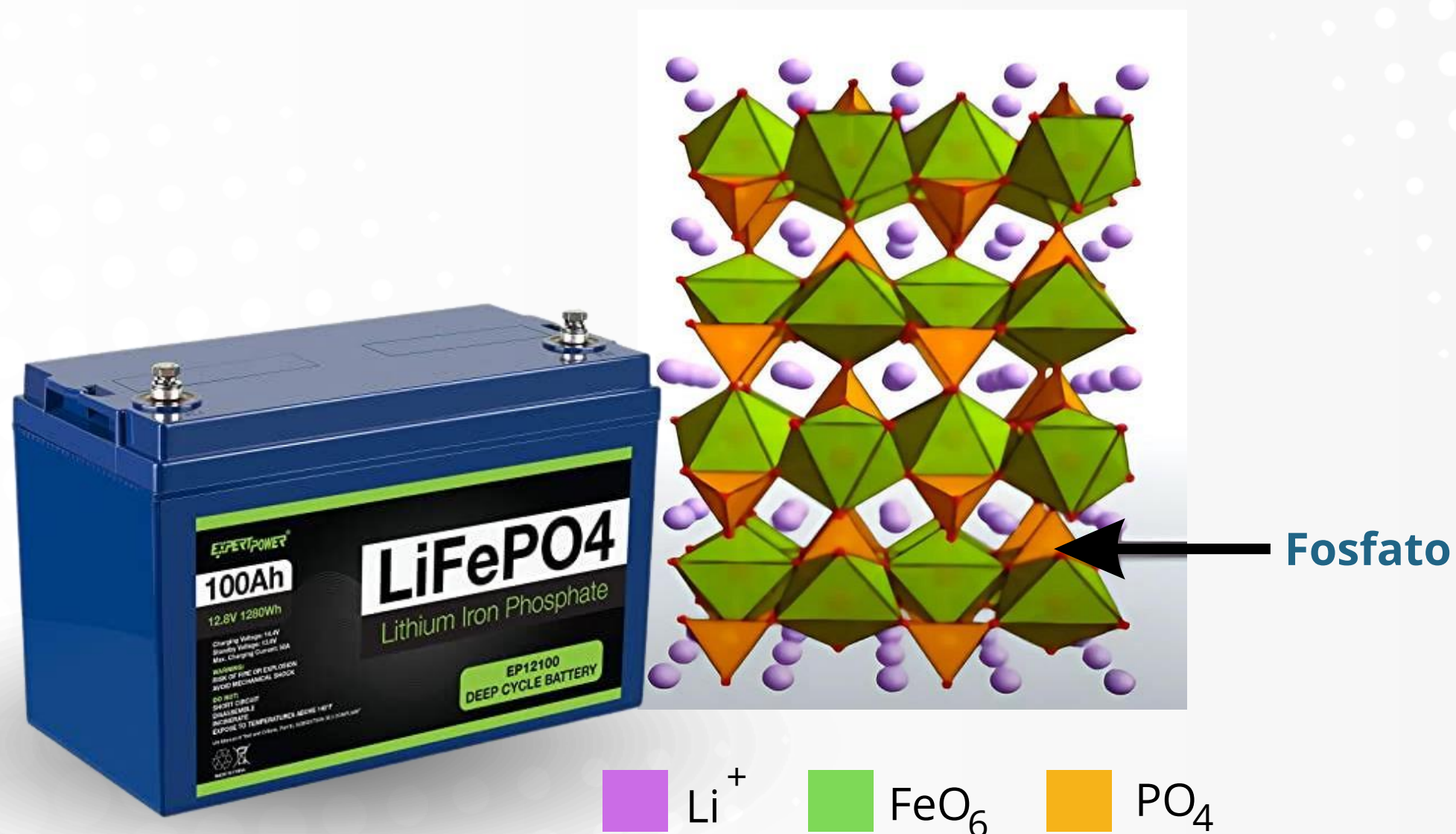


Las baterías LMO tienen una mayor estabilidad térmica que las baterías con química LCO, pero están limitadas por su capacidad, que es menor que la de los sistemas basados en cobalto.

## Aplicaciones



# Fosfato de Hierro y Litio (LFP / LiFePO4)



Su densidad de energía es de  
90 a 160 Wh/kg  
> 4000 ciclos.



## Ventajas

- Altos números de ciclos de Carga y Descarga
- Menos sobrecargas
- Más estables a altas temperaturas
- Menos Costo | Menos tóxicas
- Buen rendimiento

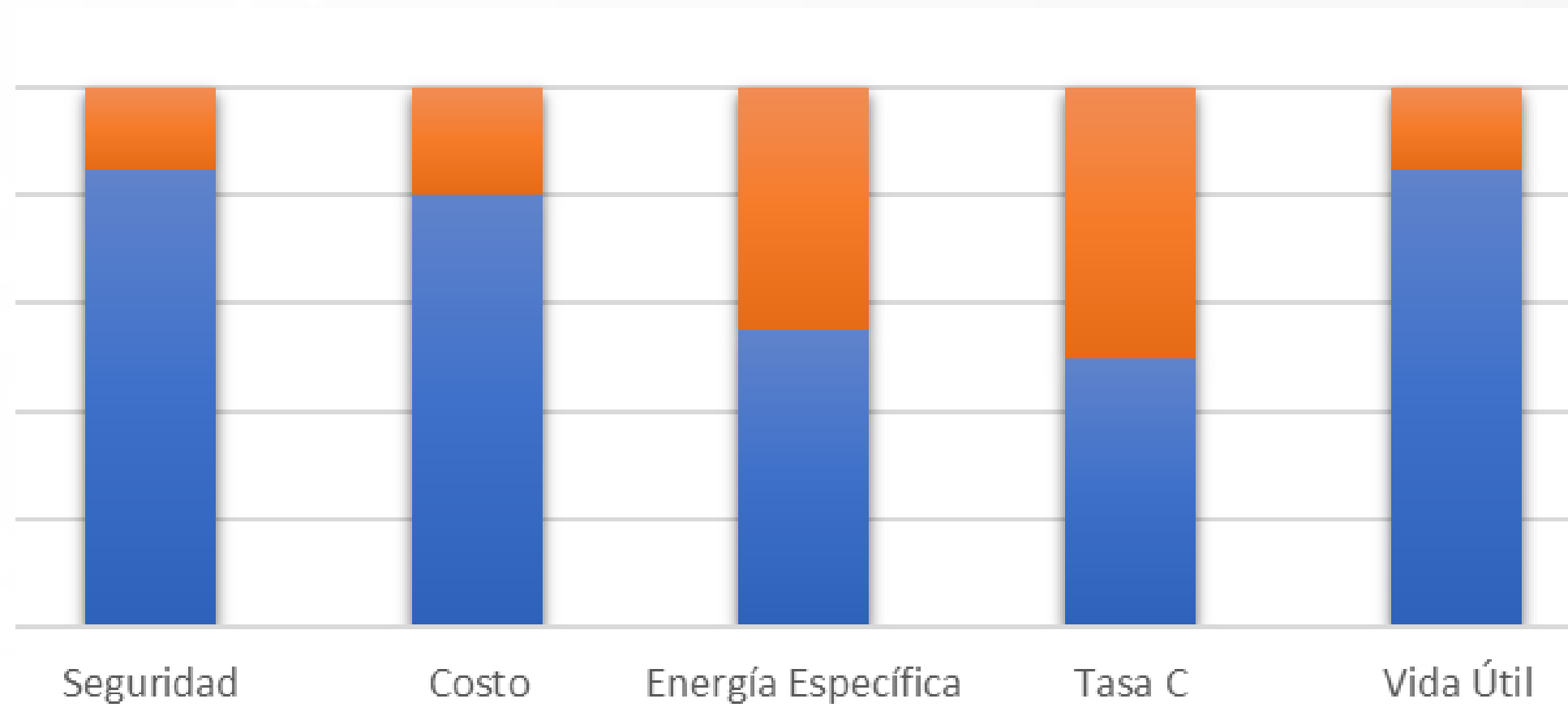


## Desventajas

- Menor densidad energética
- Más pesadas
- Menor rendimiento en clima frío
- Todavía siguen siendo costosas



# Fosfato de Hierro y Litio (LFP / LiFePO4)

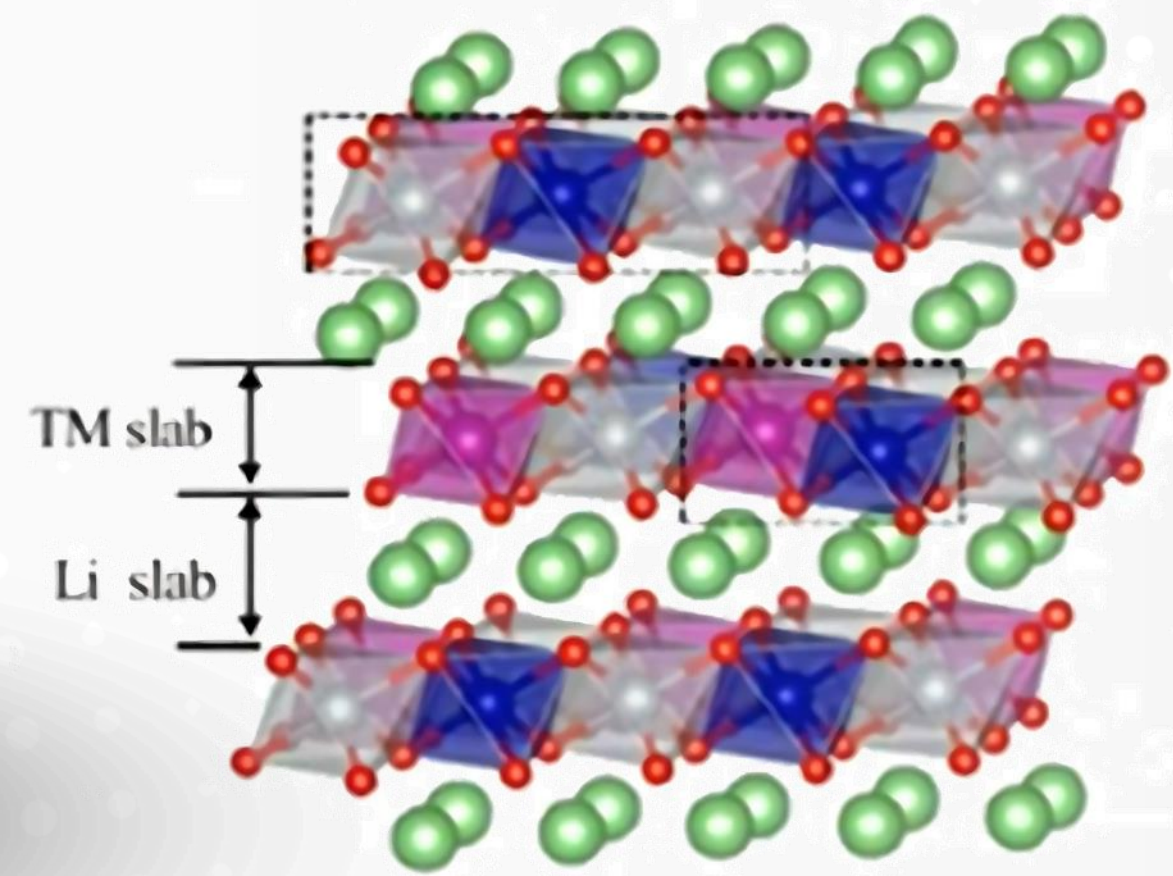


Las baterías con química LFP son las más seguras y estables del mercado actual, y están disponibles en formatos de gran capacidad, tal y como requieren los sistemas industriales, sin necesidad de conectar muchas celdas pequeñas en paralelo, lo que disminuiría su estabilidad y comprometería la seguridad del vehículo.

## Aplicaciones



# Litio, Níquel, Manganeso y Cobalto (NMC)

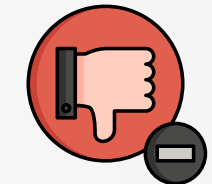


**Su densidad de energía es de  
150 a 200 Wh/kg.  
2000 ciclos.**



## Ventajas

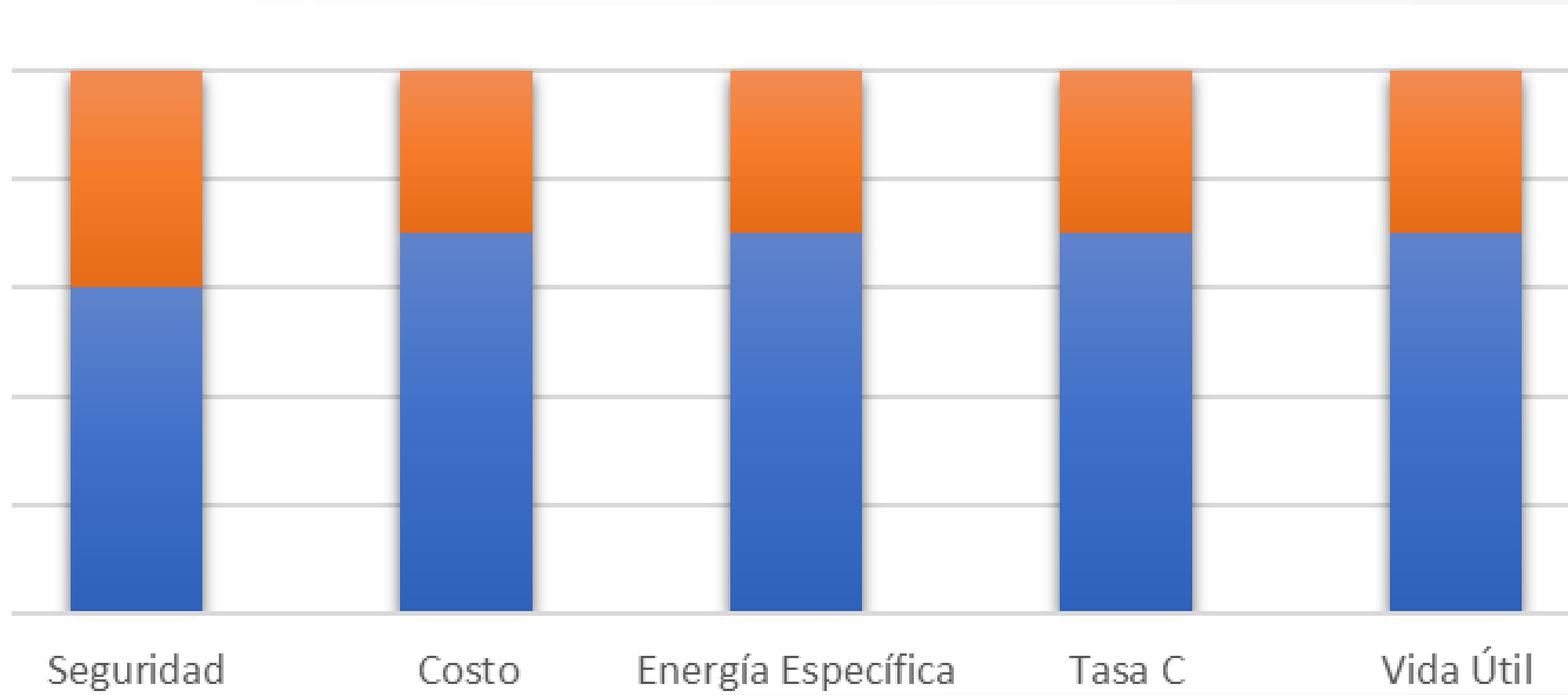
- Buena cantidad de energía almacenada
- Mayor estabilidad térmica
- Duración razonable ciclos de carga y descarga
- Soporta descargas rápidas
- Menos degradación durante su uso



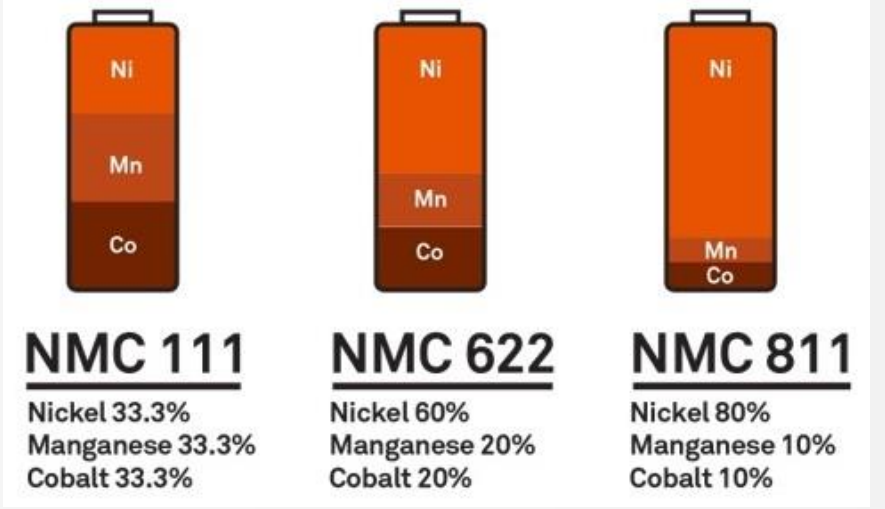
## Desventajas

- Cobalto es costoso
- Escasa producción de Cobalto
- Disminución de vida útil
- Degradación de rendimiento a altas temperaturas

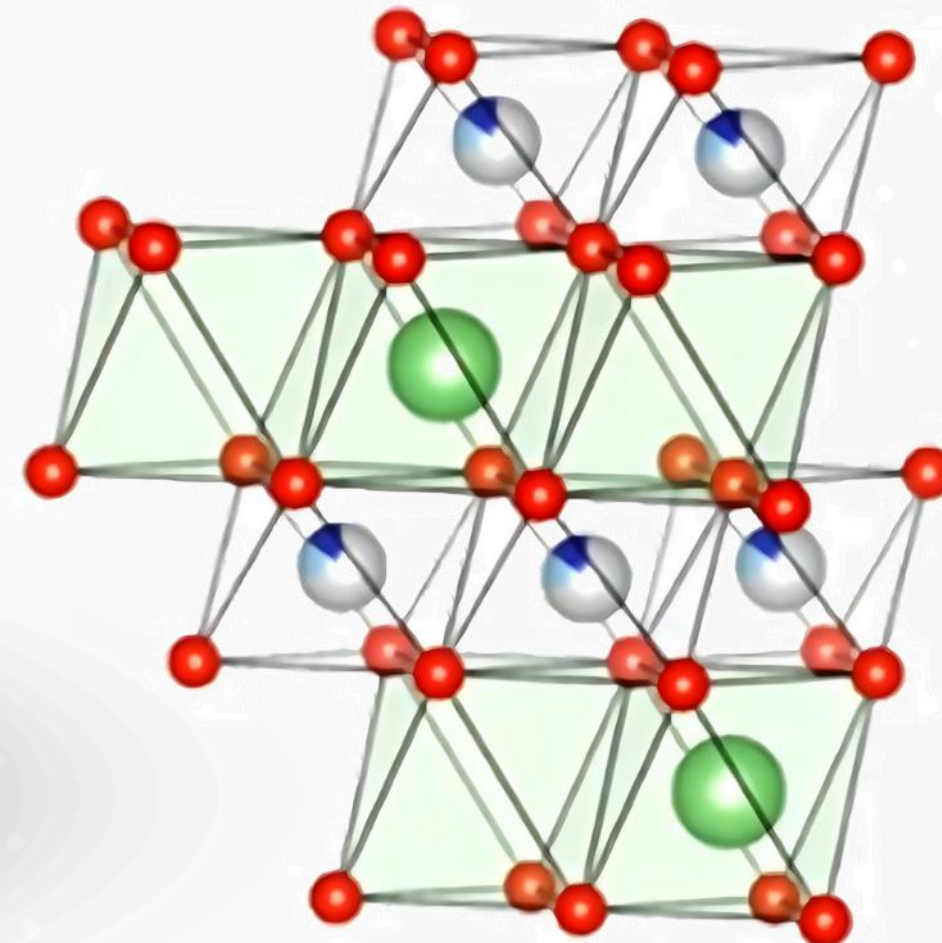
# Litio, Níquel, Manganeso y Cobalto (NMC)



Hasta la fecha, las baterías con química NMC siguen siendo las más utilizadas en el sector de automotriz.



# Litio, Níquel, Cobalto y Aluminio (NCA)



Oxígeno

Níquel, Cobalto,  
Aluminio

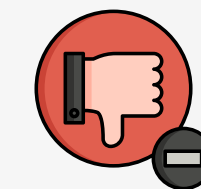
Litio

**Su densidad de energía es de  
200 a 250 Wh/kg.  
1000 ciclos.**



## Ventajas

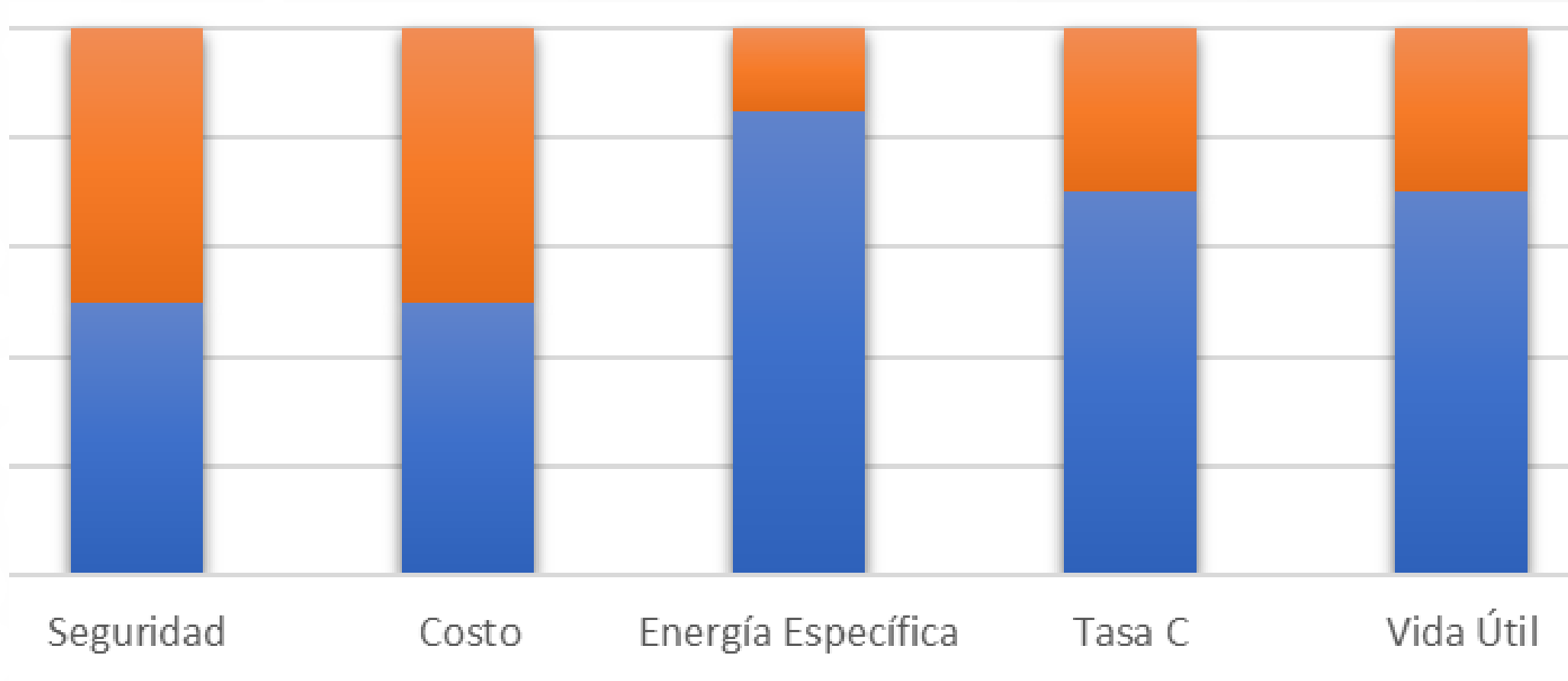
- Buena capacidad almacenamiento energía
- Mayor estabilidad térmica
- Duración razonable ciclos de carga y descarga
- Soporta descargas rápidas
- Se degrada menos por uso
- Ciclo de vida razonable



## Desventajas

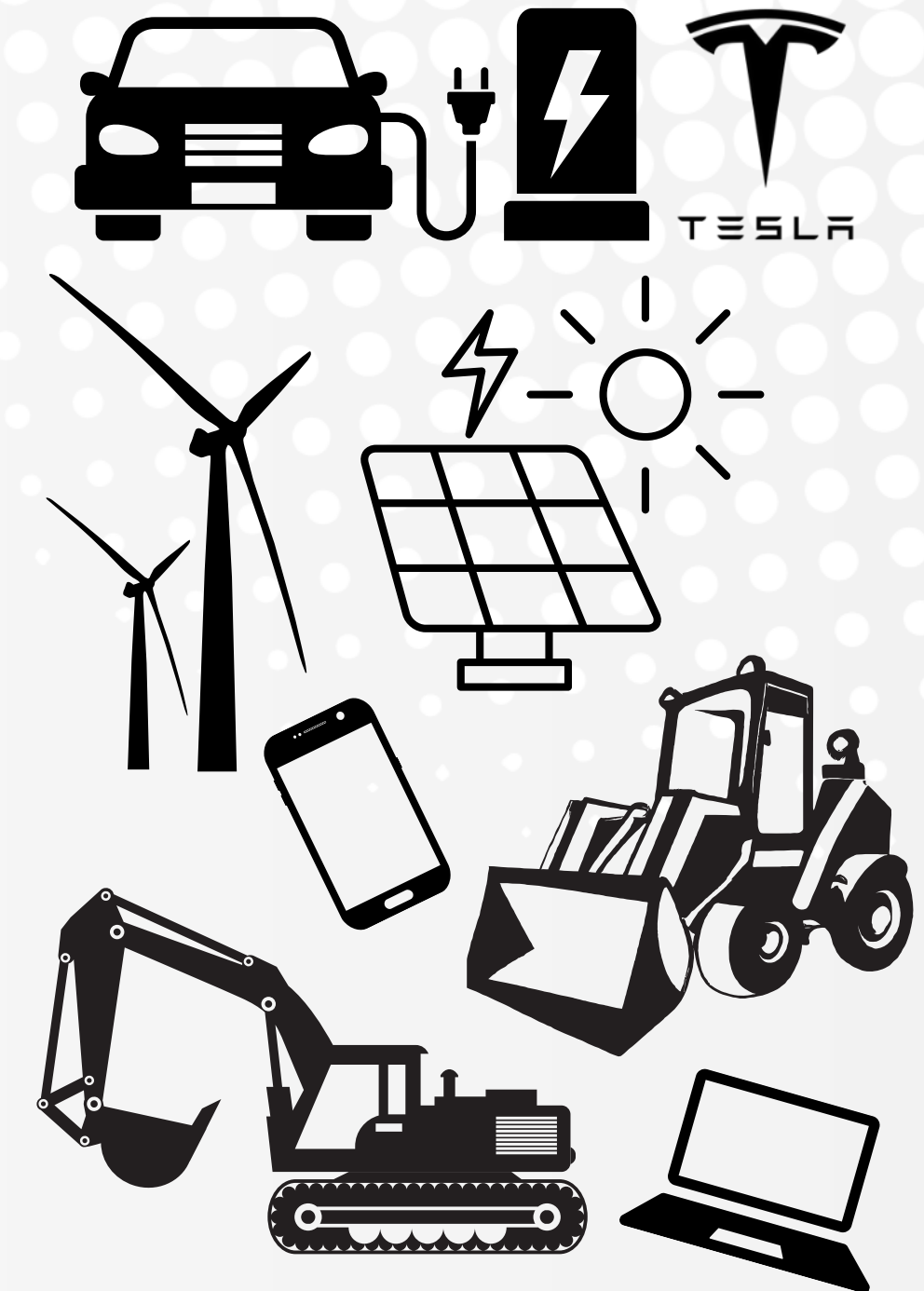
- Alto precio de Co y Ni
- Escasa producción de Cobalto
- Vida útil más corta
- Uso de Co y Ni genera problemas ambientales

# Litio, Níquel, Cobalto y Aluminio (NCA)



Debido a su alta capacidad de almacenamiento de energía, las baterías de litio NCA se utilizan a menudo en mezclas con químicas NMC para lograr un compromiso entre densidad de energía, seguridad y estabilidad.

## Aplicaciones



# Titanato de Litio (LTO)



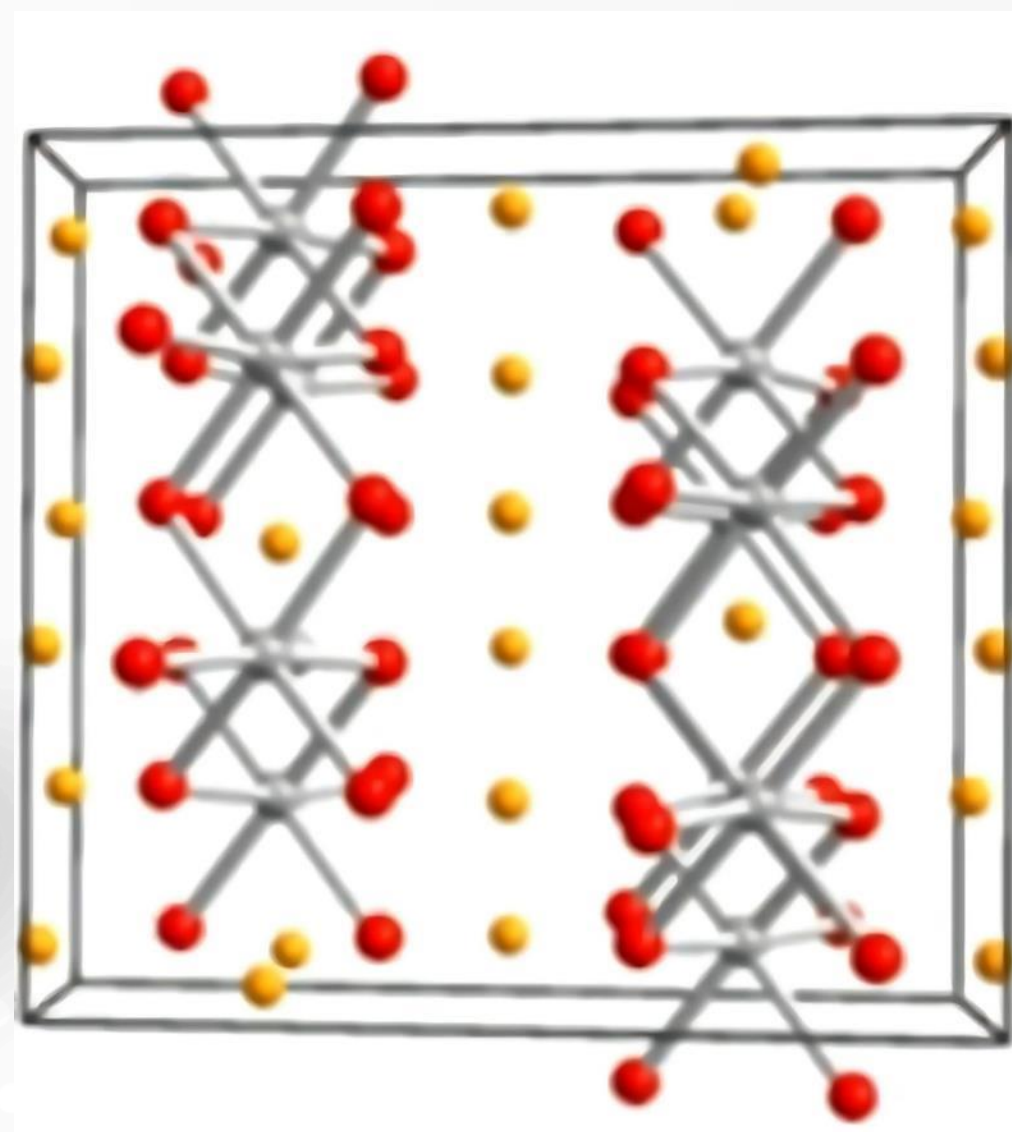
## Ventajas

- Buena capacidad y rendimiento
- Descarga de energía completa sin sufrir daños
- Carga y descarga rápida
- Ciclo de vida muy largo
- Más seguras y estables térmicamente



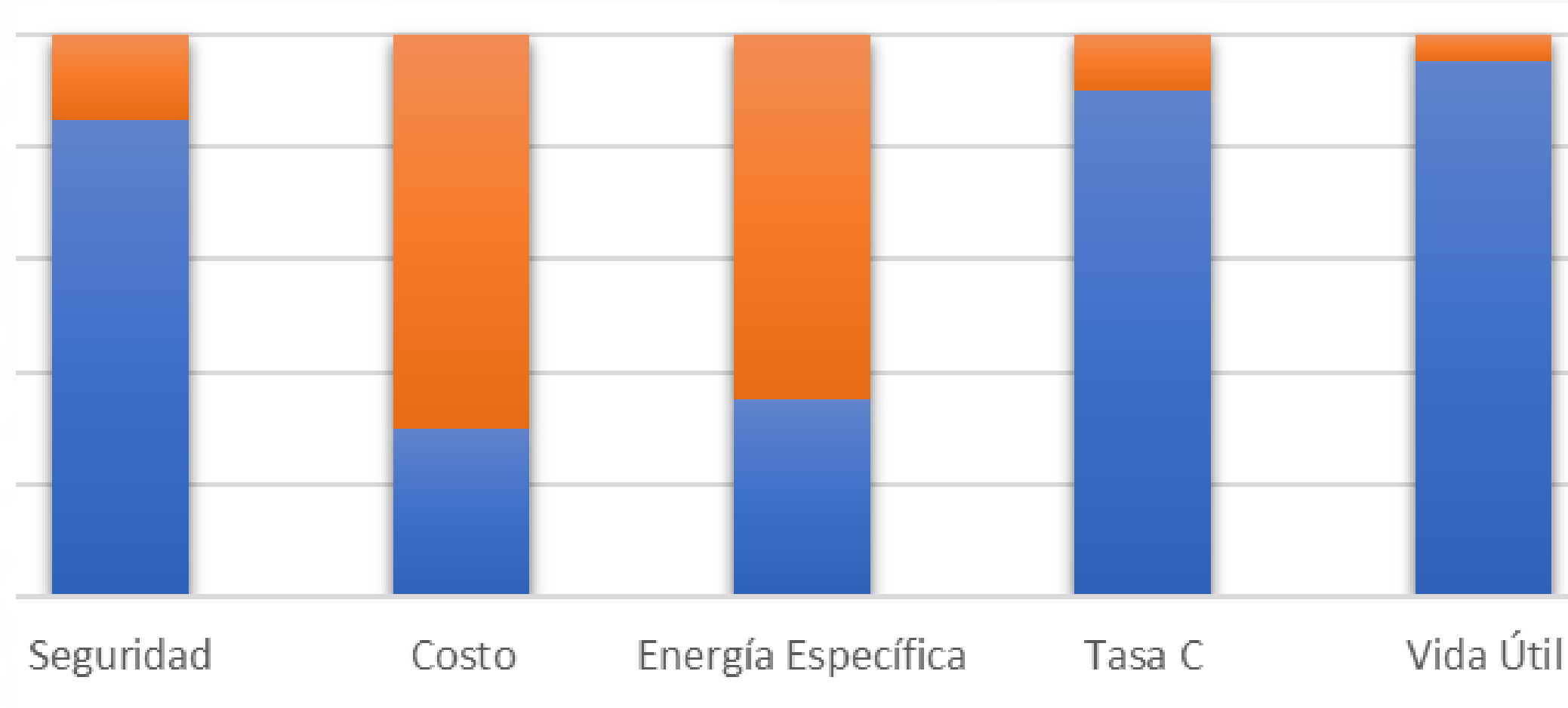
## Desventajas

- Baja densidad de energía
- LTO puede ser más costoso
- Afecta rendimiento en temperaturas muy bajas
- Poca disponibilidad



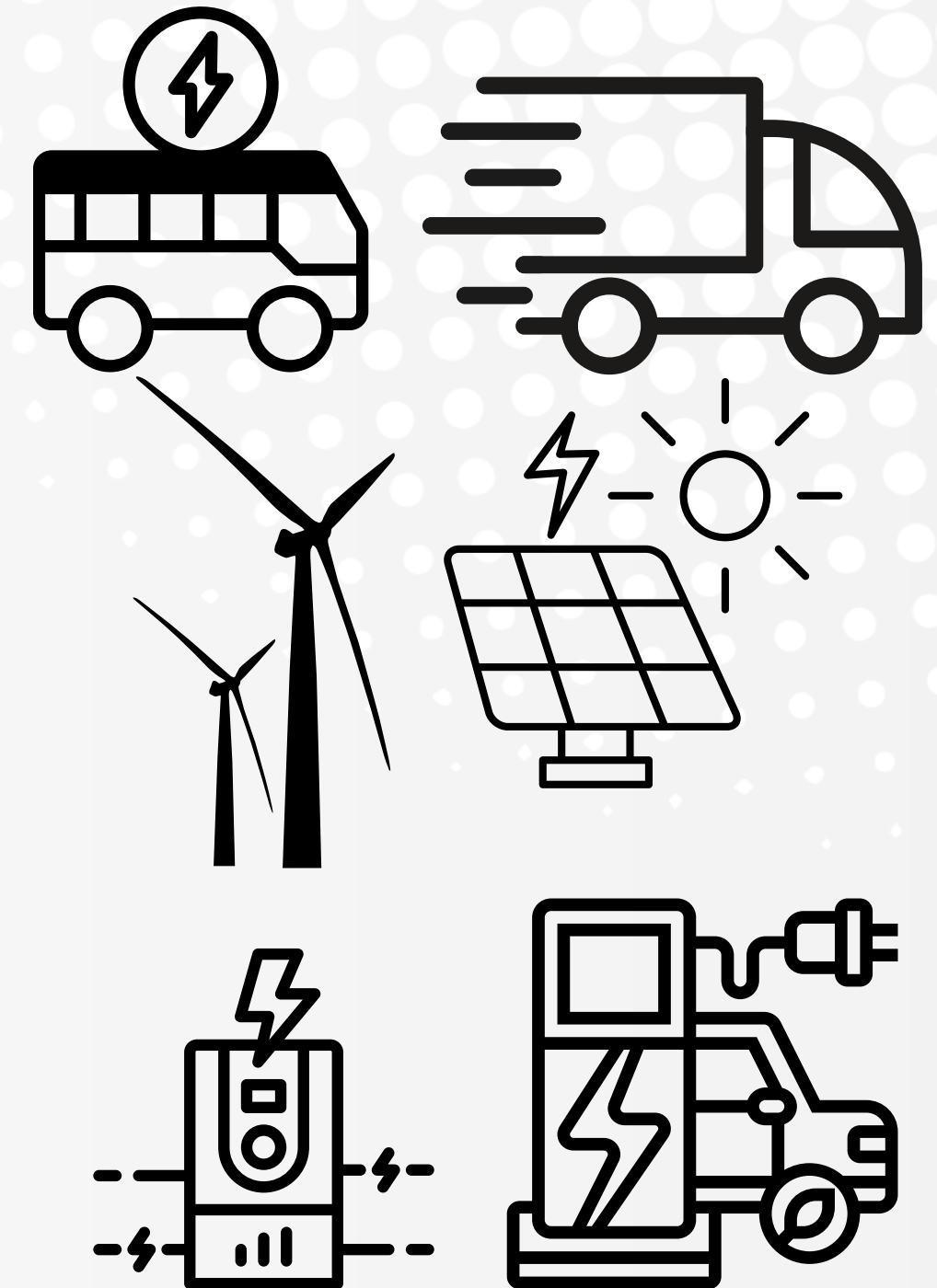
Su densidad de energía es de  
**70 a 90 Wh/kg.**  
**15000-20000 ciclos.**

# Titanato de litio (LTO)

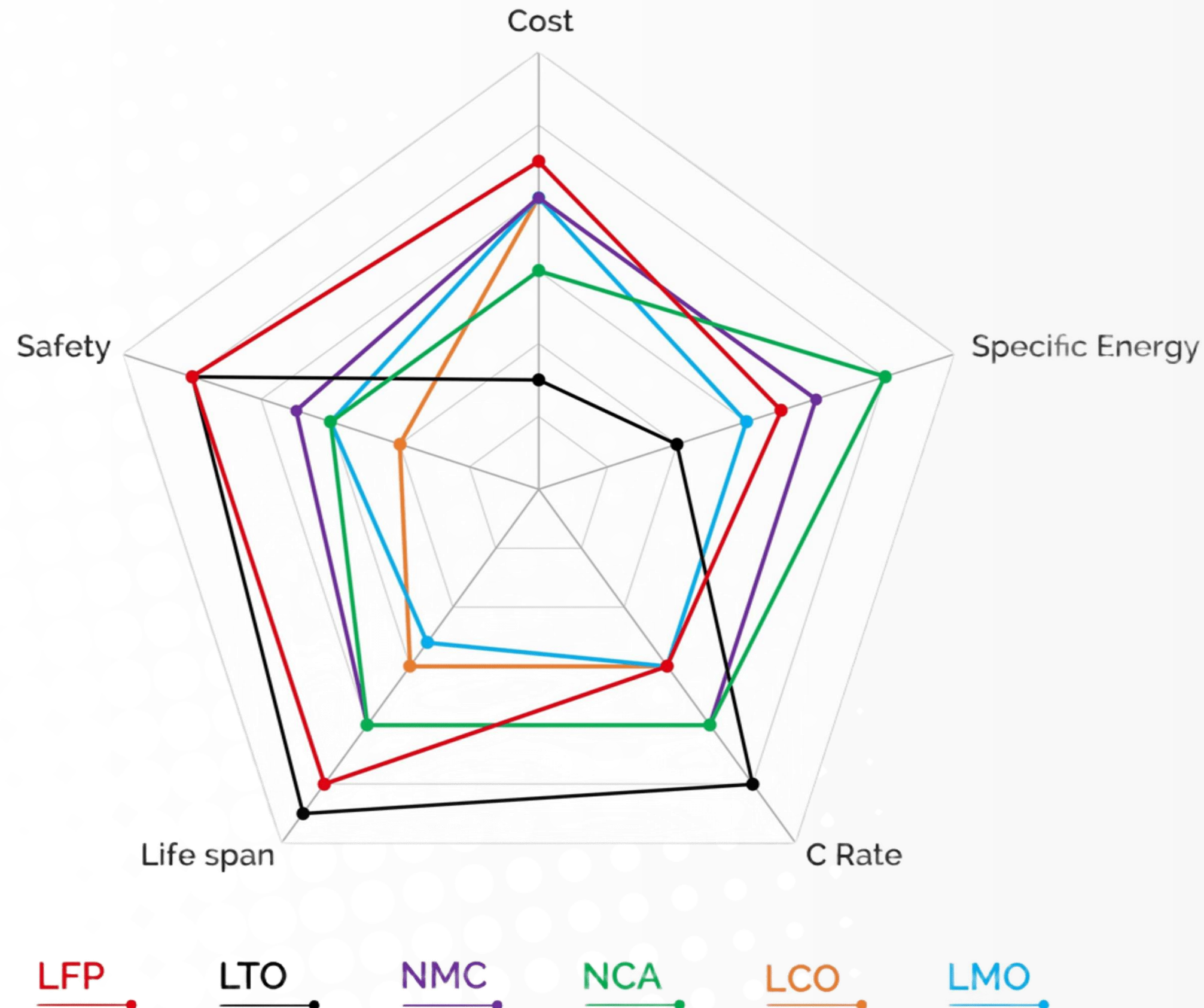


Sus bajos voltajes internos y la falta de estrés mecánico le permiten degradarse muy poco, llegando fácilmente a los 15.000 a 20.000 ciclos. Por esta particular ventaja, podría emplearse para la electrificación de coches y vehículos sometidos a un uso muy intensivo, pero en la actualidad aún arrastra algunos problemas que limitan su uso y difusión.

## Aplicaciones



# Diagrama comparativo de los diferentes tipos de litio



- **Energía específica [Wh/Kg]:** es la relación entre la cantidad de energía contenida y el peso de la batería.
- **Seguridad:** relacionada con la estabilidad térmica porque la seguridad intrínseca depende en gran medida de qué tan estables sean térmicamente los componentes.
- **C- Rate:** tasa de carga/descarga. Se trata de un parámetro estrechamente vinculado a la capacidad de la celda para generar energía.
- **Ciclo de vida:** Número de veces que se puede descargar y cargar la celda hasta llegar al final de su vida útil.
- **Costo**



# Comparativo de los diferentes tipos de baterías

Tipo de batería	Densidad de Energía (Wh/kg)	Costo (USD/kWh)	Ciclos de Vida	Seguridad (1-10)
Plomo-Ácido	30-50	80-150	300-500	7
Plomo-Ácido AGM	30-100	150-200	400-600	7
Plomo-Gel	30-60	150-250	500-1000	8
Plomo-Carbono	50-90	200-250	3000-4000	8
Litio LFP (Fosfato de Hierro)	90-160	90-150	2000-5000	9
Litio NCA (Níquel-Cobalto-Aluminio)	200-260	140-180	1000-2000	5
Litio NMC (Níquel-Manganeso-Cobalto)	150-220	120-180	1000-3000	6
Litio LCO (Óxido de Cobalto)	150-200	200-300	500-1000	4
Litio LMO (Óxido de Manganeso)	100-150	150-250	1000-2000	7
Litio LTO (Óxido de Titanato de Litio)	70-110	300-600	4000-15000	10
Litio Estado Sólido	400-500 (estimado)	300-800 (estimado)	5000-10000 (estimado)	9 (estimado)

- **Energía específica [Wh/Kg]:** es la relación entre la cantidad de energía contenida y el peso de la batería.
- **Seguridad:** relacionada con la estabilidad térmica porque la seguridad intrínseca depende en gran medida de qué tan estables sean térmicamente los componentes.
- **C- Rate:** tasa de carga/descarga.
- **Ciclo de vida:** Número de veces que se puede descargar y cargar la celda hasta llegar al final de su vida útil.
- **Costo**

# Baterías en vehículos eléctricos (EVs) en Colombia



## Marcas de vehículos

- **BYD: Litio NCA**
- **BMW: Litio NCA**
- **Tesla: Litio NCA**
- **Chevrolet: Litio NMC**
- **Volvo: Litio LFP y NMC**
- **Suzuki: Litio NMC**
- **Toyota: Litio NCM**
- **Hyundai: Litio NMC**
- **Mercedes Benz: Litio LFP y NMC**
- **Mazda: Litio LFP y NMC**





# Ejemplos prácticos

# Proyecto de Energía Solar de Touba, Senegal

## Plomo-ácido (Flooded Lead-Acid, FLA)



Utiliza baterías de plomo-ácido para almacenar energía solar en una de las instalaciones más grandes del país.

Proporciona electricidad a zonas rurales.

Esta solución es un ejemplo de cómo se puede utilizar tecnología más asequible para proporcionar energía limpia en países en desarrollo.

**240k**

Senegaleses provistos de electricidad

**35 MWp**

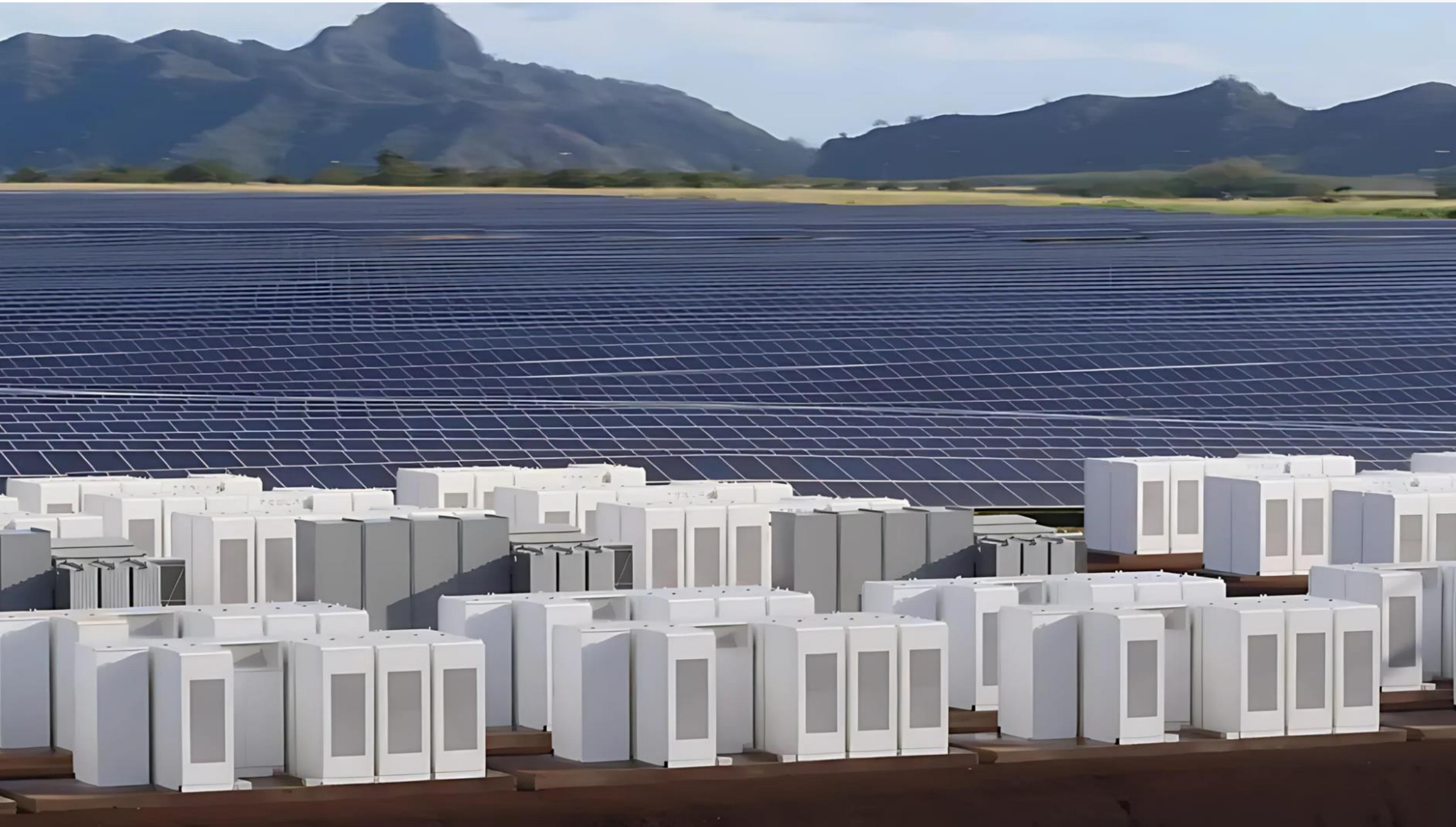
Planta de Energía Solar

**+ 40k**

Toneladas de CO2 evitadas anualmente

# Proyecto Tesla Powerpack - Australia

## IONES de Litio (Li-ion)



Diseñada para almacenar energía renovable, la megabatería de Tesla de iones de litio tiene 100 MWh de capacidad.

El sistema se combina con el parque eólico Hornsdale, situado 120 millas al norte de Adelaida, almacenando el exceso de energía creado por las turbinas eólicas para ser utilizado cuando sea necesario.

**90%**

Reducción de Costos  
de Energía

**30.000**

Casas abastecidas por  
1 hora de apagón

**USD 66M**

costo del proyecto

# Aeropuerto Internacional de Cochin - India

## Litio-Ferrofosfato (LiFePO4)



Utiliza baterías LiFePO4 para almacenar energía y satisfacer las necesidades energéticas de la terminal y todas sus operaciones; para hacerlo comprensible, si se volcara a la red para su consumo podría suministrar electricidad a unas 10.000 familias.

De esta manera, el aeropuerto de Cochin se ha convertido en el primero del país en hacerlo.

**46.000**

Paneles Solares

**13,1 MWp**

En potencia instalada

**300.000**

Toneladas de CO2 ahorradas en 25 años

# Planta de Almacenamiento de Energía Solar San Diego

## Baterías de Flujo (Redox)



Cuenta con seis contenedores de almacenamiento de baterías de flujo Redox que se ubican sobre plataformas de concreto individuales a aproximadamente ocho pies de distancia y se conectan a la subestación en 3530 Main St. a través de líneas subterráneas.

Proporciona principalmente servicios de estabilización para el Operador Independiente del Sistema de California (CAISO)

**90%**

Energía limpia para  
el 2035

**6 MWp**

o 12 MWh

**3.000**

hogares abastecidos por 1 hora de apagón

# Proyecto de Integración Toyota - Japón

## Baterías de Estado Sólido



La marca de autos japonesa ha afirmado que ha fabricado una revolucionaria batería de estado sólido con la que podrás cargar tu coche en 10 minutos y realizar trayectos de 1.200 kilómetros.

Promete revolucionar la industria al resolver los problemas de durabilidad que afectan a los vehículos eléctricos actuales.

**2028**

inicia producción industrial  
para vehículos eléctricos

**10**

minutos tomará  
cargar un vehículo

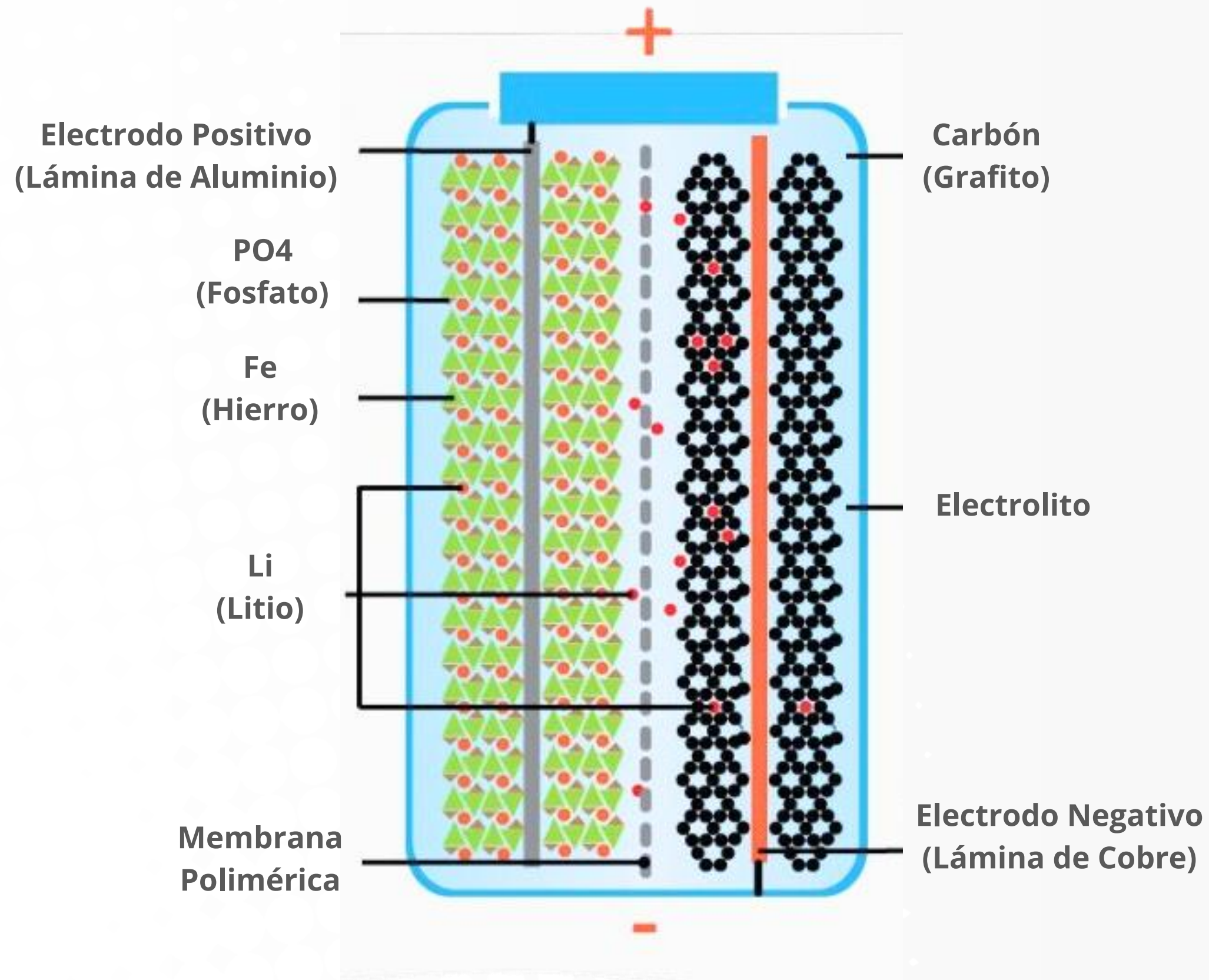
**1.200 Km**

autonomía de rendimiento de batería



# Nuevos desarrollos

# Litio-Ferrofosfato (LiFePO<sub>4</sub>)



## Mejoras



- **Optimización tamaño de partículas de cátodo**
- **Nuevos Aditivos de Electrolitos**
- **Recubrimientos para mejorar estabilidad térmica**
- **Mayor Densidad de Energía**

## Baterías de Estado Sólido

Ánodo de Metal  
de Litio (-)

Cátodo (+)



Contacto Eléctrico  
del Ánodo

Separador Cerámico  
de Estado Sólido

Contacto Eléctrico  
del Cátodo

### Mejoras



- **Conductividad Iónica**
- **Reducción riesgo cortocircuito**
- **Rentabilidad a gran escala**

# Mejoramientos Técnicos y Tecnológicos de las baterías

Plomo-ácido  
(Flooded  
Lead-Acid, FLA)

Gel (Gel Cell)

AGM (Absorbent  
Glass Mat)

Lead-Carbon

Níquel-Cadmio  
(NiCd)

Iones de Litio  
(Li-ion)

Carbón Activado

- Capacidad de Carga Rápida
- Eficiencia de Descarga Profunda
- Vida Útil

Gel de Sílice y estructura del separador

- Eficiencia de Carga y descarga
- Vida útil
- Trabajo alas temperaturas

Diseño de electrodos y separadores

- Incremento densidad de energía
- Vida útil

Carbono Avanzado

- Mayor capacidad de carga
- Vida útil
- Menos sulfatación

Diseño de Electrodo

- Mayor eficiencia
- Reducción de autodescarga
- Nuevos sistemas de reciclaje

Materiales de cátodo

- Mejor densidad de energía
- Más seguridad y vida útil
- Gestión térmica

# CONCLUSIONES



### La relevancia del almacenamiento energético

Sin soluciones de almacenamiento adecuadas, el aprovechamiento pleno de las fuentes renovables sería limitado.



### Diversidad tecnológica en baterías

Cada tecnología debe ser seleccionada cuidadosamente, considerando el perfil de carga, las condiciones ambientales y los requerimientos de cada proyecto.



### Innovaciones disruptivas de almacenamiento

Las innovaciones permitirán que las soluciones de almacenamiento no solo sean más eficientes, sino también más competitivas.



### Tendencias hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética

La continua reducción de costos de fabricación está consolidando el papel de las baterías como una solución clave para mejorar la eficiencia energética.



### Impacto en el mercado global de almacenamiento

Se proyecta un crecimiento sostenido del mercado de baterías en sectores claves como el almacenamiento estacionario, la movilidad eléctrica y la integración con redes inteligentes.

# Muchas gracias por su atención

MICHEL CASTRO ARANGO  
Ingeniero Electricista e Industrial

+57 313 7687674  
mcastro@mcasolarenergy.com  
www.mcasolarenergy.com



## VIII CONGRESO INTERNACIONAL

Incorporación de **BATERÍAS** en el dimensionamiento de los sistemas, una realidad que no se puede aplazar