



# REVISTA INDUSTRIAL 4.0

EDICIÓN DIGITAL Nro. 5  
NOVIEMBRE 2022

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial

M.Sc. Oscar Arnaldo Heredia Vargas  
Dra. María Eugenia García Moreno  
Ing. Alejandro Mayori Machicao  
Ing. Freddy Gutierrez Barea  
Ing. Franz Zenteno Benitez

Rector  
Vicerrector  
Decano Facultad de Ingeniería  
ViceDecano Facultad de Ingeniería  
Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0  
Edición Impresa N° 5 - Noviembre 2022  
Impresa ISSN 2958-017X  
En Linea ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:  
Ing. Fernando Sanabria Camacho  
Ing. Grover Sanchez Eid  
Ing. Mario Zenteno Benitez

Diseño Versión Impresa & web:  
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:  
shutterstock/ /588546479

Imprenta:  
Walking Graf

Deposito Legal:  
4-3-68-20

Web:  
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>  
Email:  
[revistaindustrial4.0@umsa.bo](mailto:revistaindustrial4.0@umsa.bo)

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
TEL. 2205000-2205067, Int. 1402



## PRESENTACIÓN



*Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez*  
**DIRECTOR INGENIERÍA INDUSTRIAL**

La visión integral que tiene la ingeniería industrial permite que investigadores de diferentes áreas del conocimiento puedan contar con la Revista Industrial 4.0 como una alternativa para publicar sus trabajos de investigación.

El aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, como es el caso actual del litio, para evitar los errores históricos que tuvo el país en la explotación de la plata, la goma, el estaño y el gas natural, deben ser debatidos en todos los niveles de la sociedad boliviana.

Somos testigos de los estragos que causa el aceleramiento del calentamiento global; se trabaja en realizar estudios para su medición y reducción, actividades que efectúan investigadores bolivianos y que presentan propuestas y alternativas para una disminución.

Procesos productivos como ser el procesamiento de alimentos, industria del cemento, automatización y confección de ropa; la propuesta de un parque científico tecnológico para la Facultad de Ingeniería en el Campus de Cota Cota y el comercio virtual son abordados en el presente número.

Un agradecimiento a los miembros del Comité Editor por su trabajo desinteresado, ético y profesional en la revisión y selección de los trabajos que se presenta para su consideración.

Seguimos dando pasos seguros en la consolidación de la Revista Industrial 4.0, este quinto número cuenta con el Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadadas (ISSN) en sus versión impresa y digital. Un reconocimiento especial por el apoyo recibido por parte de la Dirección y Personal de la Biblioteca Central de la Universidad Mayor de San Andrés para la obtención de la codificación antes mencionada.

Destacar el gran apoyo que brinda el personal administrativo de la carrera de Ingeniería Industrial, independiente del área al que pertenece, para que se pueda publicar por más de dos años ininterrumpidos la presente revista.

# ANÁLISIS DE LOS CONDUCTORES QUE DETERMINAN LA PARTICIPACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL LITIO DE BOLIVIA EN LA CADENA GLOBAL DE VALOR DE BATERÍAS DE IONES DE LITIO

**Grissel Paz Perez**

ORCID 0000-0001-5946-2275

gpaz1@umsa.bo

**Juan Ignacio Mitre Huayta**

ORCID 0000-0002-2394-320X

jimitre@umsa.bo

Recibido: 10 de octubre; aprobado: 14 de noviembre

## Resumen

El 61% de los recursos de litio en el mundo se encuentran en América del Sur en el "Triángulo de Litio" conformado por Bolivia, Argentina y Chile. Bolivia es el mayor poseedor de recursos de litio en el mundo. Sin embargo, no participa significativamente en el mercado mundial de productos químicos de litio. Asimismo, no existe información disponible y actualizada sobre las operaciones de producción que realiza la Empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), empresa encargada de los procesos de producción de los recursos de litio en Bolivia. Además, se espera que la creciente demanda de productos químicos de litio para la producción de baterías de iones de litio no sea satisfecha por los actuales participantes en el mercado mundial de estos productos químicos. Esta investigación se realizó en 2021 para cerrar la brecha de información existente y analizar los principales factores que determinarían la participación de Bolivia en la cadena de valor global de baterías de iones litio. La metodología seguida incluye los siguientes pasos: Se realizó una revisión de la literatura de los siguientes tópicos: El litio en el mundo, oferta y demanda del litio, la cadena global de valor de las baterías de iones de litio, y el litio en Bolivia. Las herramientas utilizadas para la recolección de datos fueron entrevistas dirigidas específicamente a los dos complejos industriales donde se recopilaron los datos: complejo industrial "La



Palca”, y el complejo industrial “Llipi”. Se entrevistó a un trabajador de nivel estratégico y a tres trabajadores nivel táctico en el complejo industrial “Llipi”. También se entrevistó a dos trabajadores de nivel estratégico y a un trabajador del nivel táctico en el complejo industrial “La Palca”. Luego, se realizó el mapeo de la cadena de suministro de YLB en base a los datos brindados en las entrevistas. Finalmente, se analizaron los conductores de participación que determinarían la integración de Bolivia a la cadena de valor global de las baterías de iones de litio. El análisis de los conductores de la participación indica que Bolivia actualmente enfrenta desafíos para incorporarse a la cadena de valor global de baterías de iones de litio.

### **Palabras clave**

Litio, Cadenas globales de valor (CGV), Baterías de iones de litio, Empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), Motores de participación.

### **Abstract**

61% of lithium resources in the world are in South America in the "Lithium Triangle" made up of Bolivia, Argentina, and Chile. Bolivia is the largest holder of lithium resources in the world. However, it doesn't participate significantly in the global lithium chemicals market. Furthermore, there is no available and updated information about the production operations carried out by the National Strategic Public Company Yacimientos de Litio Bolivianos, the company in charge of the production processes of lithium resources in Bolivia. Besides, it is expected that the growing demand for lithium chemicals for the production of lithium-ion batteries will not be satisfied by the current participants in the global market of these chemicals. This research was carried out in 2021 to close the existing information gap and analyze the main factors that would determine Bolivia's participation in the global value chain of LIBs. The methodology followed includes the following steps: A literature review of the following topics was carried out: Lithium in the world, lithium supply and demand, the global value chain of lithium-ion batteries, and lithium in Bolivia. The

tools used for data collection were interviews specifically directed to the two industrial complexes where the data was collected: "La Palca" industrial complex, and "Llipi" industrial complex. A strategic level worker and three tactical level workers were interviewed at "Llipi" industrial complex. Two strategic level workers and one tactical level worker were also interviewed at "La Palca" industrial complex. Then, YLB's supply chain was mapped. Finally, the drivers of participation that would determine the integration of Bolivia to the global value chain of lithium-ion batteries were analyzed. The analysis of the drivers of participation indicates that Bolivia currently faces challenges in joining the global lithium-ion battery value chain.

## Keywords

Lithium, Global value chains (GVC), Lithium-ion batteries (LIBs), National Strategic Public Company Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), Drivers of participation.

### 1. Introducción

Los productos químicos de litio son materias primas indispensables para las baterías de iones de litio que al mismo tiempo son esenciales para la electromovilidad (Graham et al., 2021). La demanda de productos químicos de litio está creciendo. Se espera que para los próximos cinco años esta demanda se cuadruple. Significa que la capacidad de producción de las empresas que actualmente participan en el mercado global de productos químicos de litio como proveedores no podrá satisfacer esta demanda (Holman, 2021). Por otro lado, Bolivia es considerado como el país mayor poseedor de litio en el mundo. Posee el 24,42 % de los recursos de litio en el mundo. A pesar de tener esta ventaja comparativa, Bolivia no participa de manera significativa en el mercado global de químicos de litio (Jaskula, 2021).

Esta investigación tiene como objetivo cerrar la brecha de información respecto a las operaciones de producción que realiza la Empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) la empresa encargada de las actividades de producción de los recursos de litio en Bolivia. Asimismo, analizando los cinco conductores de participación más importantes (Dotación de factores, Ubicación



geográfica, Estabilidad política, Afluencia de inversión extranjera directa (IED) y Capacidad industrial nacional) que determinarían la participación de Bolivia en la cadena de valor global de las baterías de iones de litio. Esta integración significa, por un lado, el aumento de la productividad en la empresa YLB y su crecimiento económico en beneficio de la región y, por otro lado, tener otro participante en el mercado de químicos de litio para satisfacer la creciente demanda (World Bank Group, 2020). A través del análisis realizado, se evidenció que Bolivia enfrenta desafíos para su integración a la cadena global de valor de las baterías de iones de litio. Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias que puedan ayudar a Bolivia a superar estos desafíos.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Revisión de la literatura**

#### **2.1.1. Litio**

El litio puro es un metal blanco platinado suave. Está ausente en su estado nativo debido a su alta reactividad. El litio está muy extendido en la naturaleza, se encuentra naturalmente en rocas ígneas félsicas en forma de un mineral cuyo nombre es espodumena, un mineral de silicato en pegmatitas. También ocurre en salmueras terrestres y agua de mar (Graham et al., 2021). Los productos químicos de litio son materias primas cruciales para la producción de baterías de iones de litio, una tecnología de almacenamiento de energía crucial para los sistemas de transporte electrificados y los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala para la electricidad renovable (Greim et al., 2020).

Aunque los mercados de productos químicos de litio varían según la ubicación, los mercados globales de uso final se estiman de la siguiente manera: baterías, 71%; cerámica y vidrio, 14%; grasas lubricantes, 4%; polvos de fundente para moldes de colada continua, 2%; producción de polímeros, 2%; tratamiento de aire, 1%; y otros usos, 6%. Los recursos de litio identificados han aumentado sustancialmente en todo el mundo para 2021 (Jaskula, 2021).

La [tabla 1](#) que se encuentra en anexos, muestra los valores de recursos y reservas de litio de los países donde se puede encontrar litio, estos valores fueron

publicados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en 2021. Cabe señalar que existe una diferencia entre los recursos y reservas identificados. Un recurso identificado es una concentración mineral potencialmente extraíble. Sin embargo, una reserva es la parte de los recursos identificados que cumple con los requisitos mínimos para realizar prácticas de producción minera y cuya explotación es económicamente viable en las condiciones actuales (López et al., 2019).

Como se observa en la [tabla 1](#) que se encuentra en anexos, no hay información disponible sobre la cantidad de reservas de Bolivia, debido a la falta de estudios para identificar estas reservas. El comercio de litio se centra en gran medida en materias primas y productos químicos clave de litio, como el concentrado de espodumena, el carbonato de litio y el hidróxido de litio, que varían significativamente en su contenido de litio. Para estandarizar estos datos, los participantes del mercado a menudo informan los datos en términos de "equivalente de carbonato de litio" o "LCE" para que la información se pueda comparar fácilmente de forma similar (Savannah Resources, 2021).

### **2.1.2. Oferta y demanda de litio**

La producción de grafito, litio y cobalto deberá aumentar significativamente en más del 450 por ciento para 2050 desde los niveles de 2018 para satisfacer la demanda de tecnologías de almacenamiento de energía (Hund et al., 2020). La demanda de vehículos eléctricos seguirá impulsando el mercado del litio (Fastmarkets, 2021). Se esperaba que la demanda de litio alcanzara aproximadamente 800.000 - 900.000 toneladas métricas de LCE para 2025, frente a un mercado actual de 300.000 toneladas métricas (Holman, 2021).

Hay una cuadruplicación de la demanda en solo cinco años y probablemente un crecimiento de seis o siete veces en diez años. Entonces, claramente la industria no está preparada hoy para ese nivel de demanda (Holman, 2021). El litio se obtiene principalmente de la espodumena o de la salmuera. El suministro de productos químicos de litio para 2020 provino principalmente de cinco operaciones minerales en Australia, dos operaciones de salmuera cada una en



Argentina y Chile, y dos operaciones de salmuera y una operación mineral en China (Jaskula, 2021).

En un escenario optimista el crecimiento de la oferta de litio para el 2022, tomando en cuenta los anuncios de los principales productores respecto al aumento de la capacidad de producción, habrá aproximadamente 120.700 toneladas de producción de LCE. Además, se debe lograr la calidad y los materiales requeridos en grado de batería. La [figura 2](#) que se encuentra en anexos muestra la cantidad de oferta de LCE esperada para 2022. Según S&P Global Market Intelligence, para 2022 se espera que la demanda crezca aproximadamente 100.000 toneladas de LCE destinadas a baterías de vehículos eléctricos en comparación con los niveles de 2021 en un escenario bastante conservador, como se puede ver en la [tabla 2](#) que se encuentra en anexos (Ribeiro, 2019). Si se toma el escenario más optimista para la oferta y el más conservador para la demanda, se evidencia una falta de material en el mercado. Como resultado, se espera una escasez de materiales en el mercado mundial de productos químicos de litio en los próximos años.

### **2.1.3. Cadena de valor global de Baterías de iones de litio**

Es importante mencionar que una cadena global de valor, consiste en una serie de etapas involucradas en la producción de un producto o servicio que se vende a los consumidores, con cada etapa agregando valor, y con al menos dos etapas que se producen en diferentes países (Antras, 2020). Los efectos de la integración a una cadena global de valor son los siguientes: hiperespecialización, relaciones duraderas de empresa a empresa que promueven la producción eficiente y la difusión de tecnología, así como el acceso a capital e insumos a lo largo de las cadenas de valor. El resultado es una mayor productividad y crecimiento de los ingresos, más de lo que logran los países a través de la producción interna, pero también de lo que logran a través del comercio de productos terminados (World Bank Group, 2020).

La cadena de valor global de baterías de iones de litio consta de cinco etapas que se explican en la [figura 3](#) que se encuentra en anexos. También se

puede ver en la [figura 4](#) que se encuentra en anexos, los países que participan en la cadena de valor global de baterías de iones de litio y sus respectivas actividades.

#### 2.1.4. Litio en Bolivia

Como se puede observar en la [tabla 1](#) que se encuentra en anexos, Bolivia es el país que posee la mayor cantidad de recursos de litio en el mundo. Sin embargo, no hay información disponible sobre sus reservas. En octubre de 2010, el gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia anunció la “Estrategia para la industrialización de los recursos evaporíticos” enfocada a extender la participación del Estado a toda la cadena de valor del litio. Además, a través de las relaciones Estado-privado para la producción de precursores, cátodos, celdas y baterías, también la gestión de residuos (Poveda Bonilla, 2020).

En la estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos se presentaron las siguientes fases: Fase I (2016 - 2020), investigación e implementación de piscinas piloto de evaporación, producción piloto de Cloruro de Potasio, producción piloto de carbonato de litio. Fase II (2019 - 2020), implementación de piscinas industriales de evaporación, planta industrial de cloruro de potasio y planta industrial de carbonato de Litio. Fase III (2020 - 2022), Producción industrial de sales precursoras, producción de materiales catódicos y producción de baterías de iones de litio. Fase IV (2022 - 2023), Investigación e Industrialización en otros salares y lagunas (Montenegro & Pinto, 2014).

En el año 2011 se finalizó el diseño de ingeniería de los equipos e instalaciones de las plantas piloto en el complejo industrial “Llipi” ubicado en el Departamento de Potosí, Provincia Antonio Quijarro, Municipio de Uyuni en la localidad de Llipi. La planta piloto de cloruro de potasio fue inaugurada en agosto de 2012. Esta planta produce cloruro de potasio desde mayo de 2013. Se comercializa en el mercado interno como fertilizante. La planta de carbonato de litio fue inaugurada el 3 de enero de 2013. Esta planta inició con una capacidad de producción de una tonelada por día.



En 2017 se inauguró la planta piloto de producción de baterías de iones de litio y la planta piloto de producción de materiales catódicos en el complejo industrial “La Palca” ubicado en el Departamento de Potosí, Provincia Tomás Frías en el Municipio de Yocalla (Obaya, 2019). En 2017 se creó la Empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) bajo los lineamientos del Ministerio de Energía de Bolivia. Mantiene la misión de realizar las actividades productivas de toda la cadena productiva del litio y su industrialización (Jones et al., 2021).

Se ha buscado ampliar la colaboración con empresas privadas. En 2018 se concretó la asociación entre YLB y la empresa alemana ACI Systems. El interés de la asociación era la producción de hidróxido de litio y magnesio a partir de salmuera residual del salar de Uyuni, materiales catódicos y baterías de iones de litio (Yacimientos de Litio Bolivianos YLB, 2018). El resultado de esta asociación fue la primera empresa conjunta (YLB-ACI EM) enfocada en la producción de hidróxido de litio y magnesio, pero estaba pendiente la formación de una segunda empresa enfocada en materiales catódicos y baterías. Sin embargo, en 2019 se declaró la derogación de la primera empresa mixta entre la empresa privada y la estatal. Generó incertidumbre sobre el destino de la empresa y sus respectivos proyectos (Reuters Staff, 2019).

### **2.1.5. Brechas a cerrar**

Con base en la revisión de la literatura, se puede observar que la creciente demanda de químicos de litio para la producción de baterías de iones de litio genera la necesidad de la participación de nuevos jugadores que ofrezcan estos químicos. Por otro lado, se demostró que Bolivia al ser el país que posee la mayor cantidad de recursos de litio no participa de manera significativa en el mercado mundial de químicos de litio. Además, la falta de información sobre las operaciones de producción de litio que se realizan en Bolivia dificulta el análisis de la situación actual de funcionamiento de YLB. Esta investigación pretende cerrar el vacío de información existente respecto a las operaciones realizadas en YLB para analizar

los factores que determinarían la participación de Bolivia en la cadena de valor global de las baterías de iones de litio.

## 2.2. Metodología

La metodología llevada a cabo incluye los siguientes pasos. En un primer momento se realizó una revisión bibliográfica para conocer y comprender el estado del arte de las industrias químicas del litio, la cadena de valor global de las baterías de iones de litio y la situación actual de la industria del litio en Bolivia. Después de eso, se han recopilado datos cualitativos y cuantitativos a través de herramientas de recolección de datos que fueron entrevistas diseñadas para la recolección de datos en los dos complejos industriales: complejo industrial “La Palca”, y el complejo industrial “Llipi”. Se entrevistó a un trabajador de nivel estratégico y a tres trabajadores nivel táctico en el complejo industrial “Llipi”. También se entrevistó a dos trabajadores de nivel estratégico y a un trabajador del nivel táctico en el complejo industrial “La Palca”. La información ha sido recopilada a través de un proceso de inmersión a las operaciones de YLB. Luego, se mapeó la cadena de suministro de YLB.

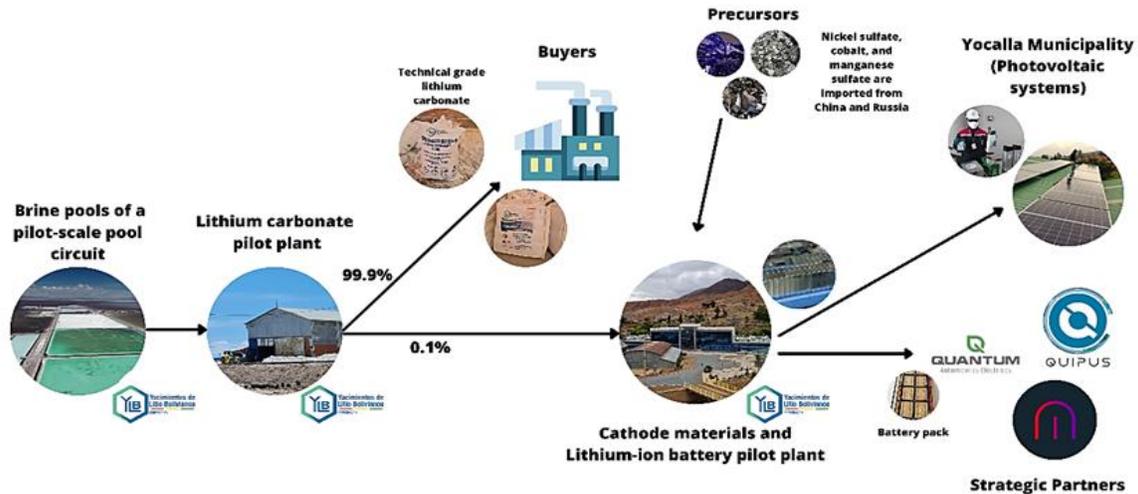
Finalmente, se analizaron los factores que determinarían la integración de Bolivia en la cadena de valor global de las baterías de iones de litio. Los factores considerados en el análisis se establecieron con base en evidencia empírica a partir de un conjunto de datos de panel que cubre más de 100 países durante las últimas tres décadas. Estos factores fueron enunciados en el informe “Trading for development in the age of global value chains” del World Bank Group (2020). Los determinantes clave de la participación en las cadenas de valor globales en orden de importancia son los siguientes: Dotación de factores, ubicación geográfica, estabilidad política, flujos de inversión extranjera directa (IED) y capacidad industrial nacional.



### 3. Análisis y evaluación de resultados

#### 3.1. Mapa de la cadena de suministro de la empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos

Figura 1: Descripción gráfica de la cadena de suministro de la Empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB)



Fuente: Elaboración propia a partir de entrevistas en los complejos industriales de “Llipi” y “La Palca”.

#### 3.2. Análisis de los conductores de participación en las cadenas globales de valor

##### A) La dotación de factores

Este factor establece que la abundancia de recursos naturales impulsa la integración a las cadenas globales de valor. Según el informe publicado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en 2021, Bolivia es el país que tiene la mayor cantidad de recursos de litio en el mundo. Esta cantidad es de aproximadamente 21.000.000 de toneladas métricas, pero no hay información disponible sobre la cantidad de reservas de litio que existen en Bolivia. YLB a través de su departamento geológico, está realizando estudios para determinar la cantidad de reservas existentes en Bolivia, este estudio se inició en 2015 y se espera que sea publicado en 2022.

## **B) Localización geográfica**

Bolivia, Chile y Argentina son países limítrofes y juntos forman el "Triángulo del Litio". Chile y Argentina son los principales proveedores de productos químicos de litio. En 2019, Chile produjo 102.734 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE) que alcanzaron el 22% del mercado mundial. Por su parte, Argentina produjo 34.067 toneladas de LCE, alcanzó una participación de mercado del 7,5% (González, 2021). Sin embargo, Bolivia se encuentra geográficamente alejada de la región de Asia Pacífico en la que se ha desarrollado un Clúster de tecnología de baterías de iones de litio, integrando regionalmente la cadena de suministro de componentes, celdas y baterías.

## **C) Estabilidad política**

De acuerdo con el índice de riesgo por países en 2020 publicado por la firma de corretaje de seguros y gestión de riesgos Marsh, con base en datos y conocimientos de Fitch Solutions que considera riesgos políticos, económicos y operativos, el cual se mide en una escala del 1 al 100, indica que un país calificado de 80 a 100 es un país estable. Si se califica con menos de 49 un país es inestable. Bolivia fue calificada con menos de 49 puntos por lo que indica que es un país inestable (Marsh, 2020).

## **D) Entradas de inversión extranjera directa (IED)**

La caída en el precio mundial de varios commodities ha tenido un impacto negativo en los flujos netos de IED, por sus efectos en las utilidades de las empresas que participan con capital en los sectores de hidrocarburos y minería, así como en las utilidades reinvertidas que se registran como investigación directa. Como consecuencia de ello en 2019 el flujo de inversión extranjera directa en Bolivia se redujo en 217 millones de USD, y en 2020 se redujo en 1.048 millones de USD (Banco Central de Bolivia, 2021).



## **E) Capacidad industrial nacional**

YLB está a cargo de las actividades productivas de la cadena de valor del litio en Bolivia. Esta empresa cuenta con tres plantas productivas: "Llipi" ubicada en el Departamento de Potosí, Provincia Antonio Quijarro, Municipio de Uyuni en la Localidad de Llipi. "La Palca" ubicada en el Departamento de Potosí, Provincia Tomás Frías en el Municipio de Yocalla. Planta "Tauca" ubicada en el Departamento de Potosí, Provincia Antonio Quijarro, Municipio Uyuni, Localidad La Tauca.

- **Complejo Industrial "La Palca"**

En "La Palca" existen dos plantas piloto, que son la planta piloto de materiales catódicos y la planta piloto de baterías: La planta piloto de materiales catódicos produce dos tipos de materiales catódicos que son: Óxido de litio manganeso (LMO) y níquel manganeso cobalto (NMC). Sus materias primas son manganeso y carbonato de litio grado batería.

La planta piloto de baterías produce celdas de iones de litio. Los packs de baterías se ensamblan con las celdas como componentes. Los productos finales obtenidos son: power banks, sistemas fotovoltaicos, packs de baterías para vehículos eléctricos y packs de baterías para bicicletas eléctricas.

- **Complejo industrial "Llipi"**

En el complejo industrial "Llipi" existen tres plantas: Planta de sal (Circuito Industrial de piscinas de salmuera), Planta de cloruro de potasio, Planta piloto de carbonato de litio. La planta de sal consiste en un circuito industrial de piscinas de salmuera. Este circuito está compuesto por 20 líneas de piscinas, cada línea consta de ocho piscinas. Actualmente se encuentran operando 12 líneas de piscinas de salmuera y ocho en etapa de acondicionamiento. Estas piscinas se alimentan con salmueras extraídas de pozos. Hasta noviembre de 2021 YLB contaba con 88 pozos.

El proceso de obtención del sulfato de litio que es la materia prima del carbonato de litio se inicia en la primera piscina de la línea de piscinas de salmuera, donde se tiene una salmuera compuesta por diversas sales. A través de la radiación

solar y los vientos, se busca evaporar el agua de la piscina, después de cierto tiempo se pasa a la siguiente piscina a través de un proceso de bombeo.

#### 4. Conclusiones

A través de esta investigación se obtuvo información cualitativa y cuantitativa de las operaciones productivas de la Empresa Pública Estratégica Nacional Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB). Esta información fue significativa para mapear la cadena de suministro de YLB, así como para analizar los conductores de participación que determinarían la participación de Bolivia en la cadena de valor global de las baterías de iones de litio.

El análisis del primer conductor indica que Bolivia es el mayor poseedor de recursos de litio en el mundo, lo que supone una ventaja comparativa frente a otros países para incorporarse a las cadenas globales de valor de baterías de iones de litio como proveedor de materia prima. El análisis del primer conductor concuerda con el segundo conductor que indica que la ubicación geográfica de Bolivia se encuentra junto a los países que actualmente son los mayores proveedores de químicos de litio en el mundo, que son Chile y Argentina. Por otro lado, Bolivia está lejos de los centros de fabricación de vehículos eléctricos, esto significa una desventaja logística para la producción de baterías de iones de litio en Bolivia debido a los altos costos de transporte y las consideraciones necesarias para transportar este tipo de baterías. El análisis del tercer conductor indica que Bolivia es un país políticamente inestable, lo que significa una desventaja para su integración a las cadenas globales de valor. El análisis del cuarto conductor indica que la inversión extranjera directa disminuyó significativamente en los últimos dos años. Una de las razones se indica en el tercer conductor.

El análisis del último conductor indica que YLB no cuenta actualmente con la tecnología para extraer litio de las salmueras de su circuito industrial. También se identificó que YLB no trabaja activamente con otras empresas en la etapa de extracción de litio de salmueras ni en la etapa de producción piloto de materiales catódicos y baterías de iones de litio.



También es importante mencionar que el 99,9% de carbonato de litio grado técnico que se produce actualmente en la planta piloto de carbonato de litio se vende al mejor postor a través de licitaciones públicas, y el 0,1% se envía a la planta piloto de materiales catódicos en “La Palca”. Por otro lado, YBL también produce materiales catódicos y baterías de iones de litio a escala piloto. Hasta noviembre de 2021, YLB entregó sistemas fotovoltaicos a comunidades cercanas para el almacenamiento de energía a partir de paneles solares. Las primeras unidades de los power banks se habían vendido en la Feria Internacional de Potosí en noviembre de 2021. Sin embargo, YLB aún no ha vendido packs de baterías para vehículos eléctricos ni packs de baterías para bicicletas eléctricas a sus socios Mobi y Quantum.

El análisis de los conductores de la participación indica que Bolivia enfrenta desafíos para incorporarse a la cadena de valor global de baterías de iones de litio. Los estudios futuros a realizar están enfocados en desarrollar estrategias para superar los desafíos identificados para la integración de Bolivia en la cadena de valor global de las baterías de iones de litio.

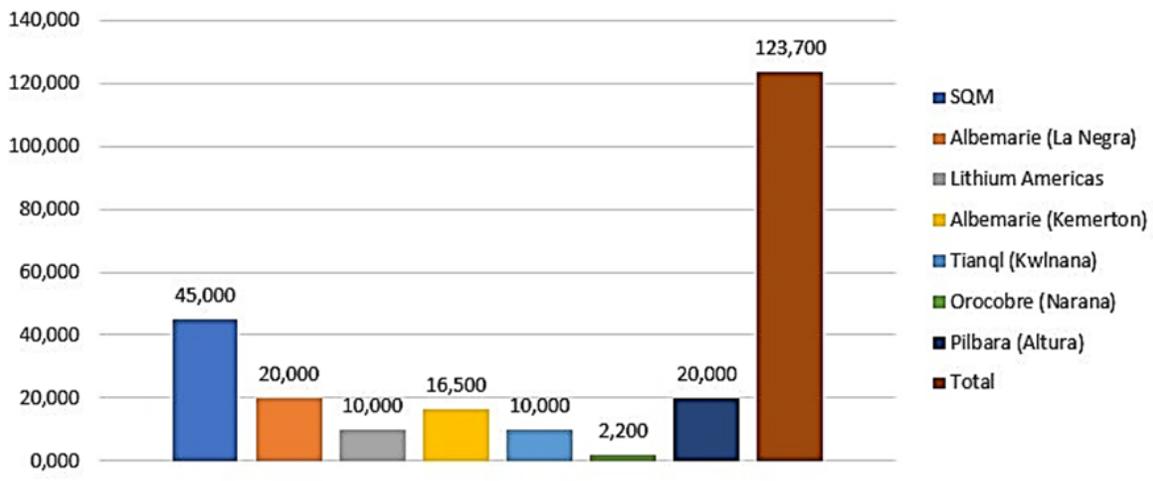
## 5. Anexos

**Tabla 1:** Recursos y reservas mundiales de litio (en toneladas métricas) por país

Country	Lithium Resources (Metric Tons)	Lithium Reserves (Metric Tons)
Bolivia	21,000,000	N/A
Argentina	19,300,000	1,900,000
Chile	9,600,000	9,200,000
United States	7,900,000	750,000
Australia	6,400,000	4,700,000
China	5,100,000	1,500,000
Congo (Kinshasa)	3,000,000	N/A
Canada	2,900,000	530,000
Germany	2,700,000	N/A
Mexico	1,700,000	N/A
Czechia	1,300,000	N/A
Serbia	1,200,000	N/A
Peru	800,000	N/A
Mali	700,000	N/A
Zimbabwe	500,000	200,000
Brazil	470,000	95,000
Spain	300,000	N/A
Portugal	270,000	60,000
Ghana	90,000	N/A
Austria	50,000	N/A
Finland	50,000	N/A
Kazakhstan	50,000	N/A
Namibia	50,000	N/A
<b>World total</b>	<b>86,000,000</b>	-

**Fuente:** Elaborado en base a “Lithium” (Jaskula, 2021)

**Figura 2:** Aumento potencial de la oferta en base LCE 2022



**Fuente:** Bull run 2.0 - El comienzo de un nuevo super-ciclo de litio (Ribeiro, 2019)

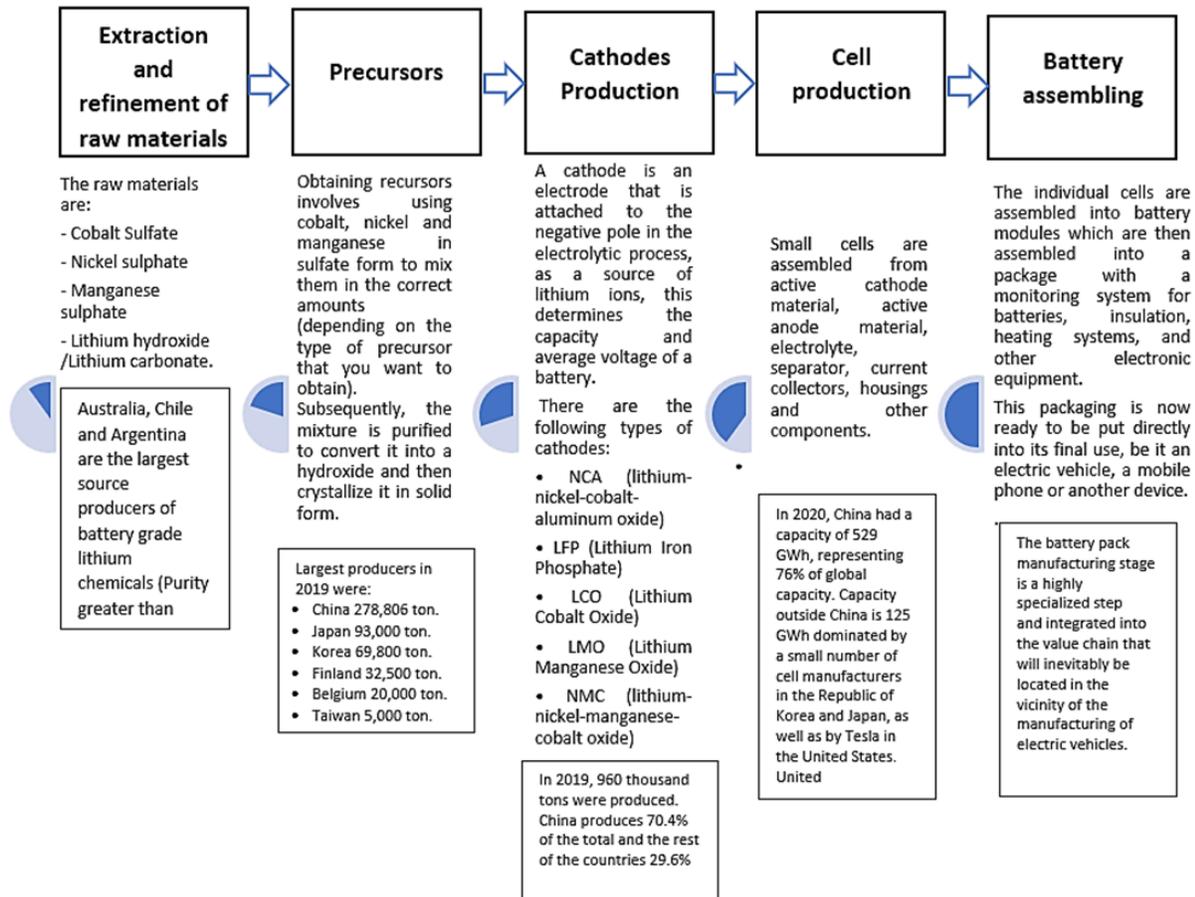


**Tabla 2:** Pronóstico de demanda de LCE para baterías de iones de litio

Batteries	Tons of lithium carbonate equivalent								
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Passenger plug-in electric vehicles	63,061	84,506	143,222	262,343	337,572	414,704	511,682	640,517	
Electronics	49,782	50,875	50,290	52,731	54,778	57,160	59,357	61,422	
Energy storage	593	737	794	1,896	2,269	2,705	3,011	6,861	
Electric bikes and motorbikes	7,249	7,675	7,759	7,843	7,928	8,015	8,102	8,102	
Other batteries	14,457	16,639	12,85	16,626	32,509	43,979	55,855	90,498	
<b>Total lithium carbonate demand for batteries</b>	<b>135,142</b>	<b>160,432</b>	<b>214,915</b>	<b>341,439</b>	<b>435,056</b>	<b>526,563</b>	<b>638,007</b>	<b>807,400</b>	

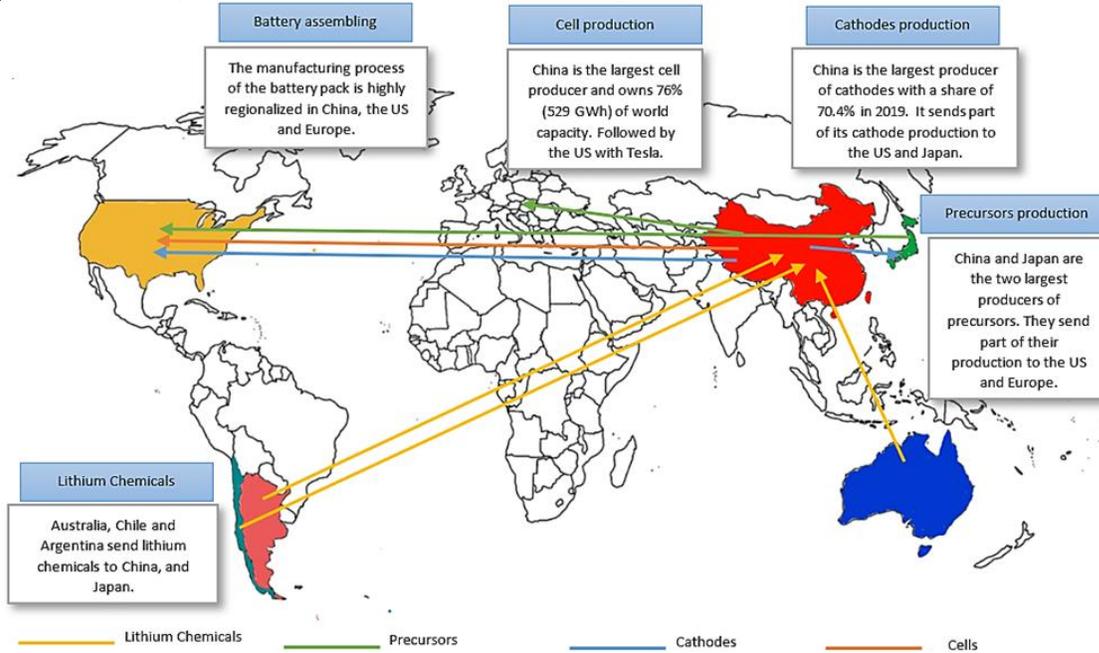
**Fuente:** Bull run 2.0 - El comienzo de un nuevo superciclo de litio (Ribeiro, 2019)

**Figura 3:** Cadena de valor global de baterías de iones de litio



**Fuente:** Elaboración propia en base a Cadena de valor del litio: Análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos (Jones et al., 2021); y Global Value Chains: Lithium in Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles (LaRocca, 2020)

**Figura 4:** Mapa de la cadena de valor global de baterías de iones de litio



**Fuente:** Elaboración propia en base a Cadena de valor del litio: Análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos (Jones et al., 2021); y Global Value Chains: Lithium in Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles (LaRocca, 2020)

## 6. Bibliografía

- Antras, P. (2020). Conceptual aspects of global value chains. *The World Bank Economic Review*, 34(3), 551–574.
- Banco Central de Bolivia (2021). Reporte de capital privado extranjero en Bolivia 2020. (pp.1 ~7).
- Fastmarkets (2021). Lithium supply and demand to 2030. *Industrial minerals*, (pp.1~).
- González, J. (2021). Informe especial litio. Secretaría de Minería de la Nación Argentina, (pp. 17–18).
- Graham, J. D., Rupp, J. A., & Brungard, E. (2021). Lithium in the green energy transition: The quest for both sustainability and security. *Sustainability*, 13(20), 274.
- Greim, P., Solomon, A., & Breyer, C. (2020). Assessment of lithium criticality in the global energy transition and addressing policy gaps in transportation. *Nature communications*, 11(1), 1–11.
- Holman, J. (2021). Lithium to remain strong amid lack of new supply: Lme week sustainability panel. *Electric power*, (pp. 1–4)

- Hund, K., La Porta, D., Fabregas, T. P., Laing, T., & Drexhage, J. (2020). Minerals for climate action: the mineral intensity of the clean energy transition. World Bank.
- Jaskula, B. W. (2021). Lithium. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, (pp. 1–2).
- Jones, B., Acuña, F., & Rodríguez, V. (2021). Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos.
- LaRocca, G. M. (2020). Global value chains: Lithium in lithium-ion batteries for electric vehicles.
- López, A., Obaya, M., Pascuini, P., & Ramos, A. (2019). Litio en la Argentina: oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor, volumen 698. Inter-American Development Bank.
- Marsh (2020). Political risk map 2020. Marsh JLT Specialty, (pp. 5–8).
- Montenegro, B. & Pinto, Y. M. (2014). El proyecto estatal de industrialización del litio y potasio en Bolivia. impactos previstos. RO Calla, JC Montenegro, Y. Montenegro y P. Poveda (2014), (Eds.), Un presente sin futuro: el proyecto estatal del litio en Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), La Paz, Bolivia.
- Obaya, M. (2019). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el estado plurinacional de Bolivia.
- Poveda Bonilla, R. (2020). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile.
- Reuters Staff (2019). Bolivia's lithium partnership with Germany's aci systems hits snag. Reuters Staff.
- Ribeiro, H. (2019). Potential supply increase in 2022 Ice basis.
- Savannah Resources (2021). Lithium overview. Lithium, (pp.1~).
- World Bank Group (2020). Trading for development in the age of global value chains. World development report, (pp. 1–66).
- Yacimientos de Litio Bolivianos YLB (2018). Memoria 2018.



  
**ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA**  
**Ministerio de Educación**  
 Moromboguasú Jeroata  
 Yachay Kamachina  
 Yaticha Kamana

00056

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN**  
 ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA






**LA COMISIÓN NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE CARRERAS UNIVERSITARIAS**  
*En sujeción y al amparo de la Ley N° 070 de la Educación "Avelino Siñani - Elizardo Pérez" del 20 de diciembre de 2010*

# CERTIFICA

Que la Carrera de:  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
 de la  
**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
 con sede académica en la ciudad de LA PAZ, ha cumplido los criterios establecidos para la

## ACREDITACIÓN

al Sistema **ARCU - SUR**, del **MERCOSUR EDUCATIVO**

*Este reconocimiento de la Calidad Académica tiene alcance Regional en el MERCOSUR, con validez de un periodo de seis (6) años.*

**La Paz, septiembre de 2019**

  
Msc. Lic. Eduardo Cortez Baldivieso  
 Presidente de la Comisión Nacional de Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

  
Lic. L. Antonio Carvalho Suárez  
 Vocal de la Comisión Nacional de Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

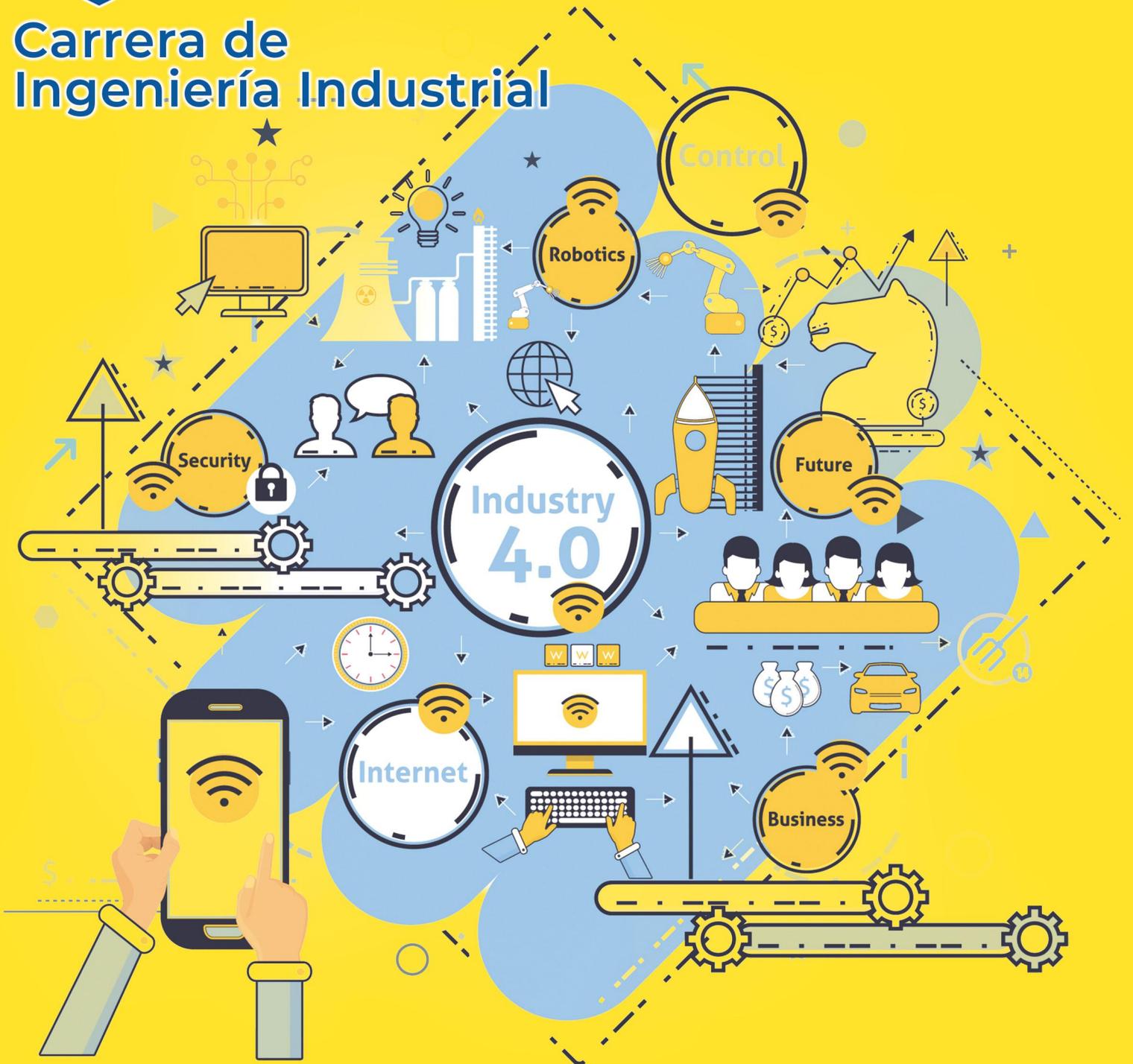
  
Abog. Jhon Justo Roberto Bahárrquez Ayala  
 Vocal de la Comisión Nacional de Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia



[industrial.umsa.bo](http://industrial.umsa.bo) / [ingindustrial@umsa.bo](mailto:ingindustrial@umsa.bo) / [tiktok.com/@industrialumsa](https://tiktok.com/@industrialumsa)  
[instagram.com/industrialumsa](https://instagram.com/industrialumsa) / [linkedin.com/in/industrialumsa](https://linkedin.com/in/industrialumsa)  
 Youtube: Carrera de Ingeniería Industrial Umsa / [facebook.com/IndustrialUMSA](https://facebook.com/IndustrialUMSA)  
[twitter.com/industrialumsa](https://twitter.com/industrialumsa)



# Carrera de Ingeniería Industrial



Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
TEI. 2205000-2205067, Int. 1402

Todos los Derechos Reservados - 2022  
La Paz - Bolivia

