

## **DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA, DESAFIOS A INCLUIR EN EL PLAN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE BOLIVIA AL 2025**

## **DIVULGATION AND TRAINING IN NANOTECHNOLOGY, CHALLENGES TO APPEAR ON THE BOLIVIA'S SCIENCE AND TECHNOLOGY PLAN TO 2025**

**Roberto Del Barco**

Representante de Red NANODYF en Bolivia. Doctor en Estudios del Desarrollo por la Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Coordinador del Instituto de Transferencia Tecnológica e Innovación (ITTI) de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Oruro, Bolivia. Profesor – investigador y miembro activo de la Red latinoamericana de nanotecnología y sociedad, ReLans.

(Recibido: Octubre/2015. Aceptado: Enero/2016)

### **Resumen**

El interés por el cambio tecnológico y la innovación, y cómo estos fenómenos se insertan en las políticas económicas nacionales, ha venido creciendo notablemente en las últimas décadas. Aunque debe reconocerse que en muchas oportunidades—en particular en los países de América latina—esas acciones gubernamentales se reducen más a referencias retóricas que a prácticas reales, los resultados en aquellas sociedades que han atendido con seriedad el cambio tecnológico se muestran como una clara evidencia de su impacto en el crecimiento y el desarrollo. En este sentido, el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI) boliviano a razón de sus tres fuentes de convergencia conceptual, expresa de manera clara que el conocimiento y la tecnología, en particular en áreas emergentes como la Nanociencia y Nanotecnología (NCyNT), son fundamentales para impulsar el modelo de desarrollo planteado para el Estado boliviano. Incluir a la difusión del conocimiento dentro de las prioridades en las políticas públicas de CyT, tiene hoy especial importancia para Bolivia. El presente trabajo aborda esta problemática considerando como base los esfuerzos de divulgación y formación en NCyNT realizados por parte del Instituto de Transferencia Tecnológica e Innovación (ITTI) de la Universidad Técnica de Oruro.

**Palabras Clave:** Nanotecnología, divulgación, Plan Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación de Bolivia, ITTI.

### **Abstract**

The interest for technological change and innovation, and how these phenomena are embedded in national economic policies, has grown dramatically in recent decades. Although it must be recognized that in many opportunities-particularly in Latin America-these government actions are reduced to rhetorical expositions more than practices, the results in those societies who have attended seriously the technological change are a clear evidence its impact on growth and development. In this sense, The Bolivia's Science and Technology Plan (S&T) expresses that knowledge and technology, particularly in emerging areas such as nanoscience and nanotechnology (NC & NT), are essential to boost the Bolivian development model. Nowadays, Include the divulgation of knowledge within the public policy priorities in S&T has special importance for Bolivia. This paper addresses this problem by considering the basis of outreach and training efforts in NC & NT made by the Institute of technology transfer and innovation (ITTI) of the Technical University of Oruro, Bolivia

**Keywords:** Nanotechnology, divulgation, Bolivia's Science and Technology Plan, Institute of technology transfer and innovation (ITTI)

### **Introducción**

En la actualidad, Bolivia afronta desafíos que requieren de un importante aporte de ciencia, tecnología e innovación (CTI) para enfrentarlos. Dentro de estos desafíos resaltan por lo menos dos estrechamente vinculados entre sí, evitar convertirse en un país marginal en el mundo y superar la extrema pobreza en la que vive una parte mayoritaria de su población. Para ello, el mandato constitucional boliviano reconoce el rol relevante de la ciencia y la investigación como factor clave para el cambio de la matriz productiva y la industrialización de los recursos naturales.

A diferencia de sus pares de la región, la propuesta del Sistema Boliviano de Ciencia, Tecnología e Innovación (SBCTI) tiene la característica de no estar basada en el concepto de competitividad como eje, sino en el de "vivir bien". Esto, que puede sonar romántico refleja una postura política orientada a desarrollar las capacidades nacionales en función del interés colectivo. Esta

postura implica una conexión explícita y directa entre desarrollo de la ciencia y tecnología (CyT) y la satisfacción de las necesidades de la población con un enfoque de desarrollo participativo, equitativo y sustentable. Es distinta, por tanto, a la concepción más extendida, que pone el acento en la relación entre CyT y la mejora en la competitividad; lo cual supone que las necesidades sociales serán satisfechas indirectamente, mediadas por los mecanismos de mercado y/o las políticas públicas, los cuales también pudieron implicar fuerzas hacia la concentración de la riqueza y la inequidad.<sup>1</sup> A partir del consenso actual de que los Estados juegan un rol clave en la promoción de la CTI, este artículo busca analizar dos aspectos centrales: la manera como el Estado boliviano plantea interactuar de forma más eficiente con los actores clave del SBCTI que contribuirán de manera directa alcanzar los objetivos del Pilar de Soberanía Científica y Tecnológica de la Agenda patriótica boliviana del Bicentenario 2025 (APB-2025); y la política tecnológica dirigida a crear capacidades endógenas y que promuevan procesos de investigación e innovación tecnológica (en nanotecnología en particular) en el sector de industrialización del litio boliviano, mismo que se constituye en uno de los priorizados por el Estado.

El artículo se divide en dos secciones. En una primera sección se realiza un análisis de la ciencia y tecnología en Bolivia, esfuerzo enmarcado principalmente en describir su componente conceptual central, el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI). En la segunda, se analiza al litio como prioridad dentro de esta política en CTI sectorializada y cómo existe un reconocimiento, aunque no explícito, de la necesidad de llevar adelante investigación, formación y divulgación en NT, fundamentalmente en el área de materiales de base mineral para su aplicación en el campo energético.

### **Ciencia y Tecnología en Bolivia**

La nanotecnología (NT) ha pasado de ser una ciencia emergente, a convertirse en una de las principales líneas de investigación en los países más desarrollados. El crecimiento del número de investigaciones en esta nueva ciencia en los últimos años, se debe principalmente al incentivo económico y político brindado por los diferentes gobiernos de países como Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania, Francia entre otros. La motivación para invertir en NT reside en que esta es considerada como camino de progreso para los países con mayor capacidad de innovación. El mundo ha incursionado en una era en la que quedar atrás en la carrera del conocimiento hará aun más notorias

---

<sup>1</sup> Es decir, existe una amplia gama de tácticas. Desde los países más neoliberales, como Chile, que apuestan por el mercado, hasta los países más “desarrollistas”, como Brasil, que tienen una política de CTI subordinada al proyecto nacional del desarrollo basado en “crecimiento inclusivo con redistribución” (del ingreso).

las brechas existentes entre los países más poderosos y los países en vías de desarrollo. En Sudamérica, Brasil ha destacado de los demás países gracias a las diferentes políticas e incentivos asociados a este campo tecnológico, pero ¿qué está pasando en países como Bolivia?

En los países andinos todas las políticas y planes de Ciencia, tecnología e innovación (CTI) señalan la necesidad de desarrollar la NT. En Bolivia las actividades de investigación relacionadas con NT ya han dado sus primeros pasos y se van desarrollando gracias al apoyo de centros de investigación, de empresas públicas y del Estado, sin embargo es poca la difusión de los avances y resultados de las mismas, además de que si bien existen políticas en cuanto a CTI se refiere, no existe ninguna que se enfoque en el desarrollo de la NT en particular.

En ese sentido, Bolivia busca desarrollar el *catching-up* tecnológico necesario para ingresar a esta nueva era que impactará social y económicamente al mundo entero, sin embargo el apoyo que recibe por parte de instancias gubernamentales —en cuanto a incentivos, financiamiento y políticas de apoyo—, aún es insuficiente mas no inexistente.

### **¿Dónde se encuentra Bolivia y cual el horizonte?**

Bolivia destaca por ser un país que se sostiene gracias a la exportación de materia prima sin valor agregado, principalmente hidrocarburos y minerales. Según reporte de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), en la gestión 2013 Bolivia ocupó el primer lugar de los países de la región en exportar materia prima (con un 96% sobre sus exportaciones totales), constituyéndose en el último país en cuanto a venta de productos manufacturados (con un 4% sobre sus exportaciones totales) [1]. El hecho de que los principales ingresos de exportaciones provengan de materia prima sin valor agregado da cuenta del escaso desarrollo de Ciencia y Tecnología (CyT), la falta de financiamiento e incentivo al sector productivo y de políticas del Estado.

Otro dato importante en el que se hace notar estas carencias es el índice de competitividad, índice que muestra la capacidad de un país de brindar prosperidad y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. En la gestión del 2014 Bolivia ocupó el lugar 105 a nivel mundial. En general, Latinoamérica ocupa puestos bajos, sin embargo Bolivia se encuentra por debajo del promedio del continente, siendo los puntos más débiles para el país la innovación, infraestructura y preparación tecnológica [2].

En este escenario, la Constitución Política del Estado boliviano (CPE) plantea el cambio del patrón primario exportador a una matriz de producción con valor agregado y generadora de excedentes. Estos objetivos de transformación de la matriz productiva se expresan a partir de las políticas de industrialización, diversificación y reconversión productiva; mismas que requieren procesos de I+D tecnológico que soporten las nuevas capacidades para el desarrollo y

transformación en sectores estratégicos que cuentan con plazos señalados por la Agenda patriótica boliviana del Bicentenario 2025 (APB-2025).

El nuevo Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI), en su tercer esfuerzo por promover la CTI boliviana a través de un proceso de planificación, ha identificado dos problemáticas centrales; primero, una escasa vinculación de las actividades académicas de las universidades con el quehacer científico de las mismas y su respuesta a las demandas sociales y productivas nacionales, segundo, los sectores sociales se encuentran alejados de los ámbitos del conocimiento y desarrollo tecnológico, y con acceso limitado a la tecnología. Como resultado de aquello ha establecido como líneas de acción la búsqueda del fortalecimiento de programas de postgrado acorde a las políticas gubernamentales vigentes y a demandas de la sociedad, y la democratización del conocimiento científico mediante programas de divulgación. El PNCTI tiene una base conceptual específica a las características particulares bolivianas, partiendo de los saberes de los pueblos (la esencia), un marco normativo e institucional (la forma) y un enfoque de prioridades orientado a efectos e impactos.

Los fundamentos del PNCTI emanan de tres fuentes: La CPE vigente, la Ley de Educación N°70 Avelino Siñani – Elizardo Perez y la APB-2025. De aquellos, se establecen tres conceptos fundamentales del plan: 1) *Ciencia y tecnología inclusiva*, inserto en el artículo 103 de la CPE vigente, establece la voluntad política para el desarrollo y coordinación de los proceso de investigación e innovación con soberanía<sup>2</sup>, 2) *Formación de talentos para la CyT*, es parte de los objetivos de la Ley de educación (Art. 5) en la búsqueda de la integralidad del conocimiento e información y la promoción de la investigación científica, técnica, tecnológica y pedagógica, 3) *Soberanía científica y tecnológica con identidad propia*, concepto basado en los objetivos de la APB-2025 que plantea 13 pilares para la construcción de una nueva sociedad más incluyente, participativa y democrática. Este concepto expresa que el conocimiento y la tecnología son fundamentales para impulsar la economía plural, la erradicación de la extrema pobreza y la universalización de los servicios básicos.

### **El Sistema Boliviano de Ciencia, Tecnología e Innovación (SBCTI) en el contexto de la propuesta de desarrollo endógeno**

En términos generales, algo que ha caracterizado históricamente a la base científica tecnológica boliviana ha sido la alta dependencia tecnológica, las exportaciones concentradas en materias primas con muy poco (o casi inexistente) valor agregado y la insuficiencia y/o subutilización del recurso humano especializado. Todo ello como consecuencia de la falta o la ineficacia de una estrategia de amplio alcance y de una estructura económica de país “primario exportador”.

---

<sup>2</sup> El articulado establece que el Estado garantizará el desarrollo de la Ciencia y la investigación científica, técnica y tecnológica en beneficio del interés general, comprometiendo el destino de recursos y la creación del sistema estatal de CyT.

En el pasado reciente, durante la aplicación del modelo neoliberal, la situación de la CyT boliviana se agudizó, a partir del supuesto de la inexistencia de capacidad y habilidad para innovar en el país, situación incierta que obligaba aceptar un rol de “usuario pasivo” de la tecnología desarrollada por agentes externos. Todo ello, sin un proceso de maduración y adecuación en base a las características técnicas, sociales y culturales del medio boliviano. Este hecho no solamente tiene un efecto en la (casi) inexistente innovación endógena, sino que a partir de este distorsionado esquema de competitividad, se justificaron la reducción de salarios, la flexibilidad laboral, la reducción de aranceles e incluso el incumplimiento de normas ambientales.

El constructo a partir del SBI dio cuenta del Sistema Boliviano de Ciencia, Tecnología e Innovación (SBCTI) definiendo al mismo como un conjunto de actores interrelacionados y complementarios, que utilizan la CTI de forma coordinada y constructiva en la generación de soluciones integrales a problemas productivos, sociales y ambientales, bajo un enfoque de desarrollo participativo, equitativo y sustentable [3].

A partir de las reflexiones de Mauricio Céspedes Quiroga, Responsable de la elaboración del PNCTI, (entrevista, Abril 9, 2015) se puede indicar que uno de los instrumentos operativos implementados desde el año 2010 y que ha dado lugar a un mayor dinamismo al SBCTI, ha sido la conformación de Redes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica (RNICyT). Las mismas surgieron ante la necesidad de un mayor fortalecimiento y articulación entre los centros de investigación, universidades y otras instituciones dedicadas a la investigación; cuyo actuar estaba desarrollándose de manera aislada y desconectada de las necesidades de la nación boliviana, alcanzando un reducido impacto en el desarrollo de los sectores social, productivo y ambiental.

Céspedes califica a las RNICyT como la base operativa del SBCTI y apuesta a la consolidación de las mismas para poder evolucionar hacia plataformas sectoriales que ya cuentan con cierto grado de experiencia y que han sido priorizadas tanto por los actores sociales como por el Estado. Estas once redes nacionales aglutinan a más de doscientos investigadores nacionales y concentran su interés en áreas tan diversas que van desde los alimentos, la energía nuclear hasta los saberes y conocimientos de los pueblos indígenas y afrobolivianos [4].

La figura 1 muestra, de manera esquemática la estructura planteada para el SBCTI. En ella, el sector científico-tecnológico está constituido por los institutos de investigación universitarios y otros de diferente naturaleza (pública o privada), a cuyo conjunto se denomina espacios científico-tecnológicos (ECT) porque en ellos se incluyen innovadores individuales (inventores, diseñadores, etcétera.) o colectivos (comunidades proveedoras de los conocimientos ancestrales con capacidad para recrearlos y desarrollarlos), etcétera. El sector productivo incluye empresas que pasan de dimensiones familiares o emprendimientos comunitarios a grandes empresas o complejos productivos (agregados sistémicos sectoriales o

regionales que incluyan elementos conexos como el cuidado ambiental y aspectos culturales y sociales de la producción).

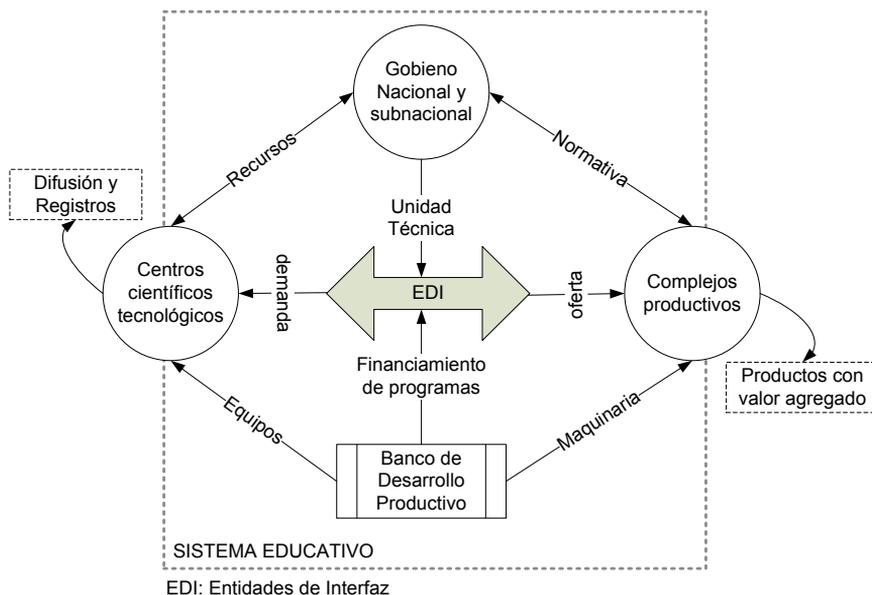


FIGURA 1. Estructura del Sistema Boliviano de Ciencia, Tecnología e Innovación (SBCTI)  
Fuente. Elaboración propia en base a [10] y [11].

La interacción entre estos sectores se realiza a partir de la estructuración de demandas de innovación, identificadas con apoyo de las entidades de interfaz (EDI) —se refiere a aquellos grupos interdisciplinarios de profesionales con conocimientos del sector productivo o estatal. En función del grado de complejidad, la demanda puede ser resuelta por la propia EDI, o bien, ser trasladada a un centro científico tecnológico para la elaboración y ejecución de un proyecto de investigación/innovación cuyos resultados se aplican en la empresa demandante. De igual manera, la interacción puede emerger a partir de la estructuración de una oferta, cuya base científico tecnológica se origina en un centro de CTI. En este caso, la oferta —que habitualmente consiste en resultados— se la convierte en productos o procedimientos normalizados mediante un proceso de desarrollo, que culminan en la transferencia al sector productivo (con intermediación proactiva de una EDI). La emisión y cumplimiento de normas (laborales, impositivas, ambientales, entre otras) se constituyen en la forma de interacción entre los organismos del Estado y los centros productivos. Por su parte, el financiamiento y la demanda de innovación —para resolver problemas sectoriales de alcance regional o nacional— se constituyen en la forma de interacción entre el Estado y los centros de CTI.

Finalmente, el Estado también interactúa en el SBCTI a través de: (1) la actividad de las entidades que proveen servicios técnico-tecnológicos y apoya al sector productivo emitiendo normas, colaborando con la gestión de calidad, certificación, acreditación, etcétera., los cuales requieren ser fortalecidos por ser elementos claves de competitividad; (2) la conformación de una base operativa y técnica del SBCTI que se estructura en un directorio nacional, una unidad técnica nacional, unidades técnicas regionales y consejos departamentales de innovación; (3) la conformación del Banco de Tecnología, entidad de apoyo para la gestión de renovación de maquinaria y equipo tecnológico utilizando instrumentos financieros como el leasing, el capital de riesgo o el crédito blando; (4) la creación de institutos y centros de CTI en áreas hasta hoy no cubiertas por el sector académico —entre ellos se cita al centro de investigación de la gerencia nacional de recursos evaporíticos, el instituto nacional de biodiversidad, el instituto nacional de innovación agropecuaria, el centro tecnológico de cueros y textiles, el instituto minero metalúrgico y los institutos de hidrocarburos; algunos en pleno funcionamiento, en tanto que otros, en proceso de formulación; y (5) el Estado también interviene proveyendo la base financiera a través del Banco de Desarrollo Productivo que administra un fondo de tecnología que financia, con instrumentos crediticios, los procesos de innovación en el sector productivo y apoya el fortalecimiento del sector científico a través de diversas líneas de financiamiento.

### **La política sectorial del PNCTI – El componente Minería**

En relación a las interacciones del SBCTI, las mismas se dan en un modelo funcional integrado por los sectores demandantes de CTI, cada uno con roles que permiten el flujo de información y recursos. Las relaciones parten de las necesidades de un sector demandante de CTI, que busca respuesta en el conocimiento producido en centros de investigación públicos y privados. El sector gubernamental actúa como agente articulador y facilitador de la CTI. Los instrumentos articuladores, financieros y normativos del SBCTI permiten convertir los resultados obtenidos por el sector generador de conocimiento en soluciones técnicas, económicamente viables para los sectores demandantes de CTI [3].

Esta perspectiva sectorial — a partir del planteamiento de la CPE vigente, acerca del cambio del patrón primario exportador a una matriz de producción con valor agregado y generadora de excedentes— da cuenta del establecimiento de políticas de industrialización, diversificación y reconversión productiva, soberanía productiva alimentaria y diversificación de mercados; mismas que requieren procesos de IyD tecnológico que sustenten las nuevas capacidades para el desarrollo y transformación en sectores estratégicos priorizados por el Estado.

En el sector minero la política nacional establece como prioridad el desarrollo y promoción estatal de la investigación relativa al manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, así como en políticas de administración, prospección, exploración, explotación, industrialización, comercialización, evaluación e información técnica geológica y científica de recursos no renovables para el desarrollo minero [3]. En este contexto, las acciones identificadas dan cuenta de estrategias de formación de talento humano para cubrir la demanda de

formación técnica, académica y científica, así como las líneas de investigación adecuadas a las demandas del desarrollo del sector apuntando a la conformación de complejos productivos descritos en términos de minería tradicional y no tradicional.

Los dos ejes temáticos para el sector se centran en dos aspectos claves: 1) investigación básica para la identificación del potencial geológico, minero y metalúrgico en Bolivia, 2) investigación aplicada en geología minería y metalurgia para la obtención de productos de alto valor agregado con interés industrial, identificando como uno de los programas claves del segundo lineamiento la explotación y transformación de recursos evaporíticos.

#### **LITIO, PRIORIDAD EN LA POLÍTICA SECTORIAL MINERA BOLIVIANA**

El litio (Li) es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm). Si bien se encuentra presente en una amplia gama de minerales (aproximadamente 145 especies mineralógicas contienen litio) sólo algunas poseen valor económico.

De los anteriores minerales, los actualmente importantes, desde el punto de vista económico, son el espodumeno y la petalita. Ambos son utilizados como fuente para producir concentrados y carbonato de Li ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ). El Li también se encuentra presente en diversas arcillas (siendo la hectorita la más importante) y en el agua de mar, en concentraciones que bordean las 0,17 ppm. [5].

Empero, la mayor cantidad de Li en la naturaleza se encuentra en salmueras naturales y no en minerales pegmatíticos. Estos salares se han formado en cuencas cerradas de origen tectónico por un proceso de concentración por evaporación solar de las soluciones ricas en sales que fluyen a la cuenca. Desde la década de los sesenta del siglo XX, las salmueras se han convertido en la principal fuente de Li, debido al menor costo de producción de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , en comparación de aquel a partir de minerales. La calidad del depósito, dependerá, en gran medida, de los niveles de concentración de los diversos elementos que la salmuera contenga. La concentración de Li en salmueras varía generalmente entre 200 y 2.000 ppm (0,02 a 0,2%). Las salmueras más importantes, en términos de calidad y volumen, se encuentran localizadas en el norte de Chile (Salar de Atacama), occidente de Bolivia (Salar de Uyuni), norte de Argentina (Salar del Hombre Muerto), en diversos lagos salinos de los Estados Unidos, en el noreste de China (provincia de Qinghai y el Tibet) y en Rusia [6].

<b>Tipo de Pegmatita</b>	<b>Países con reservas</b>
<i>Espodumeno:</i> ✓ El más abundante de los minerales de pegmatitas ricas en Li, constituyendo alrededor de un 20% de los minerales contenidos en la pegmatita.	Estados Unidos (Carolina del Norte), Canadá, Australia, Zimbabwe, Congo, Brasil, Rusia, China y Argentina
<i>Petalita:</i>	Zimbabwe, Namibia,

✓ Luego del espodumeno es el mineral que presenta una mayor importancia económica. Se usa como fuente para producir concentrados de Li, los que se comercializan por su alto contenido de óxido de Li (Li <sub>2</sub> O)	Canadá, Brasil y Rusia.
<i>Lepidolita</i> ✓ Este tipo de mineral junto con la petalita se usan principalmente y en forma directa como mineral en la industria de vidrios y cerámicas.	Zimbabwe, Brasil, Canadá Australia y Portugal.
<i>Ambligonita y Eucriptita</i>	Canadá, Estados Unidos, Australia, Namibia y Brasil.

CUADRO 1. *Minerales de Litio por tipo y país de reserva*  
Fuente. *Elaboración propia en base a [6]*

### *Salar de Uyuni*

Al suroeste del altiplano de Bolivia, ubicado en el departamento de Potosí, se encuentra el salar de Uyuni, con una extensión mayor a cualquier otro salar en el mundo: aproximadamente 10.582 Km<sup>2</sup>, situado a una altura promedio de 3.653 metros sobre el nivel del mar (msnm). Es el mayor depósito de litio (Li) en el mundo, según estudios de la Universidad de Duke de Estados Unidos se llegó hasta los 220 metros de profundidad, no llegando a tocar el fondo mismo. El clima es árido con precipitación anual de 350 mm especialmente de enero a marzo y una temperatura máxima de 14°C [7].

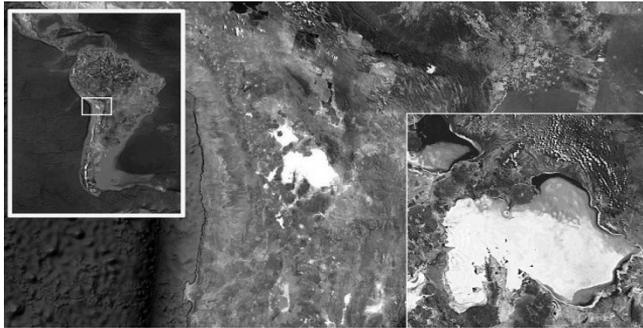


Ilustración 1 *Ubicación del Salar de Uyuni*

La tabla siguiente resume las características de la salmuera del Salar de Uyuni, esto según reportes de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), donde se destaca que la mayor concentración de Li se encuentra al sur del Salar.

<b>IÓN</b>	<b>Sur del Salar [g/L]</b>	<b>Promedio del Salar [g/L]</b>
<b>Litio (Li)</b>	1,00	0,63
<b>Magnesio (Mg)</b>	19,10	15,02
<b>Potasio (K)</b>	18,94	13,84

<b>Sodio (Na)</b>	84,54	96,28
<b>Calcio (Ca)</b>	0,33	0,45
<b>Sulfato (SO4)</b>	21,28	22,59
<b>Cloruro (Cl)</b>	201,26	190,00
<b>Boro (B)</b>	0,85	0,50
<b>Densidad [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,25	1,22
<b>pH a 15°C</b>	6,80	7,14

TABLA 1. Características de la salmuera del Salar de Uyuni  
Fuente: Elaboración propia en base a [8]

### **Demanda de baterías de ion litio en el sector de energías renovables en Bolivia**

Bolivia tiene una política energética al 2025 que pretende concretizar el 100% de electrificación domiciliar y de servicios sociales en áreas rurales, donde se demanda la instalación de aproximadamente 200.000 nuevos sistemas fotovoltaicos. Por otro lado, en el marco de producción energética excedentaria, se visualiza la construcción y puesta en marcha de parques fotovoltaicos y eólicos para alimentar al Sistema Integrado Nacional (SIN). Al mismo tiempo, a nivel mundial se está impulsando en el campo de energías renovables (sistemas fotovoltaicos, eólicos, microcentrales hidroeléctricas) la sustitución de los sistemas de almacenamiento estacionario, tradicionalmente de baterías de Pb-ácido por baterías ion-Li. Principalmente, porque éstas presentan un ciclo de vida (carga/descarga) y densidades energéticas (Ah/kg) elevadas, consistentes con las necesidades de aplicación, en demanda de almacenamiento y el tiempo de vida. Una ventaja adicional es el menor nivel de contaminación ambiental, elemento clave para su aplicación en áreas rurales.

Las actuales baterías existentes en el mercado, y las que la Dirección de Electroquímica y Baterías de la GNRE plantea producir (en base a la disponibilidad de la materia prima existente en el país), son de las configuraciones tipo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4//\text{C}$  y  $\text{LiFePO}_4//\text{C}$ . En estas configuraciones, el  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  presentan una ciclabilidad de 300 ciclos (a 80% DOD), con una capacidad del orden de 100 mAh/g (potencial cercano a los 4V vs. Li/Li+); y los tipo olivina  $\text{LiFePO}_4$ , presentan una ciclabilidad de 700 ciclos (a 80% DOD), con capacidad de 170 mAh/g (3.45 V vs. Li/Li+), adecuadas para su aplicación al campo de energías renovables.

En este marco se hace necesario concretizar el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía de ion-Li, en Bolivia adecuados para esta demanda nacional, y extenderla a cubrir otros mercados a nivel internacional.

### **La CTI en política sectorial del Litio (formación por área estratégica)**

Bolivia tiene definida como política nacional desarrollar la industria de base mineral. En el corto plazo, en productos químicos básicos; a mediano plazo, químicos finos y materiales; y a largo plazo, alcanzar la producción de baterías y

otros sistemas energéticos para el mercado de las energías renovables, o incluso el de la industria automotriz.

Esta iniciativa es operativizada por la GNRE dependiente de la COMIBOL. El proyecto de industrialización boliviana demanda a corto y mediano plazo el desarrollo de CTI ligada a la formación de talentos humanos, que sean capaces de responder a este reto nacional.

Adicionalmente, el proyecto no solo obliga a desarrollar la cadena productiva del Li, sino también el desarrollo de una industria paralela en química básica y química fina orientada a otros insumos claves, como el Hierro, Manganeso, Níquel, Fosforo, Carbono Grafito, Titanio, Estaño, y Cobre y Aluminio electrolíticos, debiendo generarse adicionalmente las capacidades industriales en la producción de materiales de interés energético (materiales catódicos, anódicos, electrolitos, y otros), logrando la producción final de baterías de Li. Adicionalmente, la industrialización de los recursos evaporíticos, permiten incorporar otras líneas de desarrollo industrial en base a Potasio, Magnesio, y Boros, cuyos productos químicos de consumo intermedio o final son requeridos en el mercado nacional e internacional [9].

El diagnóstico conjunto entre el sector universitario nacional, y la GNRE – COMIBOL, desarrollado a partir del trabajo coordinado de la plataforma nacional en energía y minería (PNEM), estructurada desde el Estado—a través de la Red Nacional de Energías Renovables—ha permitido identificar las necesidades en CTI en el campo de materiales de base mineral para su aplicación al campo energético.

<b>Área de conocimiento</b>	<b>Área de demanda en formación de talento humano</b>	<b>Demanda de profesionales formados/tiempo</b>
Industria Química Básica	Procesos Metalúrgicos y de Tecnología Química Inorgánica en el procesamiento de salmueras y minerales para la obtención de productos de química básica.	Corto y mediano Plazo ( 3 años) Formación de 10 Especialistas y 10 Maestros
Industria de Química Fina	Procesos de Tecnología Química Inorgánica para la obtención de productos químicos de alta pureza.	Corto y mediano Plazo (3 años) Formación de 10 Especialistas y 10 Maestros
Industria de materiales, baterías de ion litio y su aplicación al campo energético (nanotecnología)	Procesos de producción de materiales electroactivos, celdas de litio ion y supercapacitores, evaluación electroquímica, y de su aplicación en el campo de energías renovables.	Mediano y largo Plazo (5 años) Formación de 5 especialistas, 10 Maestros y 10 Doctores.

CUADRO 2. Necesidades en formación de talento humano para el sector de base mineral y su aplicación al campo energético. Fuente: [9]

Bajo esta lógica, el trabajo conjunto de la plataforma plantea la necesidad de estructurar un programa en *Innovación en Materiales de Base Mineral para el campo energético*, con el objetivo de consolidar sinérgicamente mecanismos de

interacción, con base a la participación de los tres sectores Universidades – Gobierno – Empresa, concretizando el Desarrollo Industrial del sector demandante.

## **CONCLUSIONES**

El presente artículo aborda dos aspectos claves, la política boliviana en CTI (considerando su énfasis en NT) y su impacto en la estrategia de industrialización de uno de sus recursos naturales potenciales, el Litio, cuya demanda mundial y las perspectivas futuras se constituyen en el principal factor para las investigaciones sobre el mineral.

Ciertamente, el interés por el cambio tecnológico y la innovación, y cómo estos fenómenos se insertan en las políticas económicas nacionales, ha venido creciendo notablemente en las últimas décadas; y ello se expresa en que las Políticas Industriales —tanto en los países desarrollados como en la mayoría de aquellos en desarrollo— incluyen cada vez más explícitamente el componente tecnológico. Tal es así, que la capacidad de innovación es considerada como el factor individual más decisivo en la determinación de la competitividad de organizaciones y países en el contexto del modelo de globalización actualmente imperante. Aunque debe reconocerse que en muchas oportunidades —en particular en los países de AL— esas acciones gubernamentales se reducen más a referencias retóricas que a prácticas reales, los resultados en aquellas sociedades que han atendido con seriedad el cambio tecnológico y la innovación se muestran como una clara evidencia de su impacto en el crecimiento y el desarrollo.

En este sentido, el PNCTI boliviano a razón de sus tres fuentes de convergencia conceptual (la CPE vigente, la ley de educación N°70 Avelino Siñani – Elizardo Pérez y la APB-2025) expresa de manera clara que el conocimiento y la tecnología son fundamentales para impulsar el modelo de desarrollo planteado para el Estado boliviano. La perspectiva sectorial del PNCTI da cuenta de políticas de industrialización que requieren procesos de IyD tecnológico que sustenten las nuevas capacidades para el desarrollo y transformación en sectores estratégicos priorizados por el Estado.

En el sector minero en particular, las acciones identificadas dan cuenta de estrategias de formación de talento humano (en especial en áreas emergentes como la NT) para cubrir la demanda de formación técnica, académica y científica, así como las líneas de investigación adecuadas a las demandas del desarrollo del sector apuntando a la conformación de complejos productivos descritos en términos de minería tradicional y no tradicional.

Es aquí, donde se establecen los lineamientos estratégicos de la transformación de los recursos evaporíticos de Bolivia con un esfuerzo vinculado al desarrollo de CTI. El objetivo de las mismas es desarrollar productos de química básica, química fina y materiales, alcanzado en el largo plazo la producción de baterías y otros sistemas energéticos para el mercado de las energías renovables y la industria automotriz.

Bajo este entorno, aunque no de manera explícita, la política boliviana en CTI reconoce la necesidad de llevar adelante investigación vinculada estrechamente a las NT. De hecho, las investigaciones actuales en el área dan cuenta de su abordaje, aunque no su declaración concreta como política nacional de CTI, ni siquiera a nivel sectorial minero.

Los recientes esfuerzos por un trabajo integral de actores (Estado-Universidad-GNRE), bajo el funcionamiento de la red nacional de energías renovables y la plataforma nacional en energía y minería, han acercado las investigaciones en el área de materiales de base mineral para su aplicación en el campo energético y se encuentran llevando adelante iniciativas de formación de talento humano local en el área, tanto para dar respuesta inmediata a las demandas de la GNRE como para ampliar las capacidades nacionales en el mediano y largo plazo. Esto último involucra alcanzar sinergias de acciones en CTI haciendo uso de la capacidad científica instalada (tal el caso del grupo conformado por el Instituto de Transferencia Tecnológica e Innovación, ITTI) como también aquella que se encuentra en pleno proceso de montaje por parte de la GNRE en lo que se conoce como la conformación de centros de investigación en CyT de materiales y recursos evaporíticos (CICYT MAT-REB), con una inversión proyectada de cerca de 40 mil millones de dólares hasta el año 2019, alrededor del 4,3% de la inversión total del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia.

Agradecimientos a la Red Nacional de Energías renovables y a la plataforma nacional en energía y minería (PNEM), cuyos resultados de los talleres de trabajo han permitido generar la información que se ha sistematizado en el presente documento. Un agradecimiento particular al grupo de investigación del ITTI por su incansable labor de divulgación y constituirse en un referente en el país.

## Referencias

- [1] M. Lazcano, *CEPAL sitúa a Bolivia como el país líder en crecimiento en Sudamérica - La Razón*, p. 2. La Paz, (2014, Agosto 5).
- [2] K. Schwab, *The Global Competitiveness Report 2014–2015*, Insight report, World Economic Forum, Geneva (2014).
- [3] MEEPB (Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia), *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*, La Paz, (2013) p. 1-112.
- [4] MEEPB (Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia), *Memoria de las Redes Nacionales de Investigación científica y tecnológica*, Viceministerio de Ciencia y Tecnología de Bolivia, La Paz, (2011) pp. 1-161.
- [5] A. Yaksic, *Análisis de la disponibilidad de litio en el largo plazo*, Tesis para obtener el grado de Magíster en Ingeniería, Escuela de Ingeniería. Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, (2008) pp.12-34.
- [6] COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre), *Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio*, Dirección de Estudios y Políticas Públicas, Documento elaborado por Camilo Lagos, Octubre. Santiago de Chile, (2009) pp. 46.
- [7] COMIBOL (Corporación Minera de Bolivia), *Memoria Institucional 2014 – Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos*, Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos, La Paz, Bolivia, (2015), pp. 115.

- [8] GNRE (Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos), *Memoria Institucional*, Recuperado el 26 de julio de 2015, <http://www.evaporiticos.gob.bo/wp-content/uploads/2014/01/memoria2013.pdf>, (2013).
- [9] PNEM (Plataforma Nacional de Energía y minería), *Programa en Innovación en Materiales de Base Mineral para el campo energético*, Documento de trabajo, Red de Energías Renovables, La Paz, Bolivia, (2015).
- [10] R. Carvajal, La competitividad y la innovación tecnológica. *Revista Temas en la Crisis*, 78(IV), La Paz, Bolivia, (2007), pp. 3-8.
- [11] SBI (Sistema Boliviano de Innovación), *Sistema Boliviano de Innovación*. Documento de trabajo del Viceministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Planificación del Desarrollo de Bolivia, (2009).