

# Identificación de tendencias en I+D sobre electrolitos de baterías de litio.

Ing. Grabois, Marcelo<sup>1</sup>

Ing. Cámara, Cristina<sup>2</sup>

Ing. Agramunt Lucia<sup>3</sup>

Tco. Quim. Regodebeses, Alejandro<sup>4</sup>

Serrano, Romina<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Químico

E-mail: mgrabois@fiq.unl.edu.ar

<sup>2</sup>Ingeniera Química.

E-mail: ccamara@fiq.unl.edu.ar

<sup>3</sup>Ingeniera Química.

E-mail: agramunt.lucia@gmail.com

<sup>4</sup>Técnico Químico

E-mail: arego@fiq.unl.edu.ar

<sup>5</sup>Estudiante de Ingeniería Química

E-mail: rserrano@unl.edu.ar

Facultad de Ingeniería Química

Universidad Nacional del Litoral

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la determinación del Estado de la Técnica, actores principales y las tendencias en I+D en relación a los electrolitos para baterías de litio, a partir de minería de datos de patentes de invención y artículos científicos. La producción nacional de baterías de litio se verá fortalecida con estos estudios estratégicos que brindan información procesada para la toma de decisiones en relación a las tecnologías que deberían ser desarrolladas localmente y aquellas que pueden ser incorporadas sin riesgos estratégicos.

**Palabras claves:** Baterías, Litio, Electrolitos, Minería de datos.

## INTRODUCCIÓN

Las baterías de litio (LBs) son el sistema de almacenamiento de energía más popular debido a su alta densidad de energía, seguridad y bajo costo. Se utilizan en dispositivos electrónicos portátiles, vehículos eléctricos o híbridos, y son candidatas prometedoras para sistemas de almacenamiento de energía sostenible, como la solar y eólica.

Dado que Argentina cuenta con grandes reservas de litio, existe un fuerte interés por la producción de este tipo de baterías, para lo cual se requiere definir la tecnología más adecuada para producir baterías de litio efi-

cientes y con las prestaciones deseadas para cada aplicación.

El principio de funcionamiento de LBs implica la conversión de la energía química generada a través de reacciones redox en energía eléctrica. Las baterías de litio están constituidas por un electrodo positivo (cátodo), un electrodo negativo (ánodo) y un electrolito no acuoso que asegura la transferencia de carga dentro de la batería. Se han desarrollado diversos materiales alternativos tanto para los electrodos como para los electrolitos con el objetivo de aumentar la capacidad energética, lograr mejoras en la seguridad y vida útil de la batería.

Este trabajo se centra en tecnologías asociadas al electrolito, componente crítico que impacta fuertemente en el rendimiento global. Además, se analizan las tendencias que surgen a partir del análisis de patentes de invención y de artículos científicos, utilizando el software de minería de datos tecnológicos Vantage Point®. Este software cuenta con herramientas de análisis y visualización de los resultados para el tratamiento estadístico de grandes cuerpos de información, y permite identificar tendencias, nuevas tecnologías, principales actores y madurez de desarrollo, entre otros indicadores.

El análisis de patentes se ha posicionado como una herramienta para la planificación estratégica y se considera como un indicador que denota inversión en actividades de in-

novación tecnológica. Permite establecer un panorama global sobre un campo tecnológico de interés mediante la identificación de tendencias, mercados potenciales, actores principales y su interrelación, como así también señales débiles. En complemento al análisis de patentes, el análisis de artículos científicos contribuye a la identificación de las principales tendencias en investigación actuales relacionadas a electrolitos para LBs.

## METODOLOGÍA

El estado de la técnica de electrolitos para LBs se estableció a partir del rescate de artículos científicos, reviews y estudios prospectivos en bases de datos tales como Scopus, ScienceDirect y EngineeringVillage. El estudio en profundidad de las publicaciones científicas más relevantes permitió establecer una clasificación de los distintos electrolitos utilizados.

El análisis de patentes de invención y artículos científicos se llevó a cabo con la metodología descrita en la Figura 1. Tras la selección de la base de datos para cada análisis, se estableció la estrategia de búsqueda para el rescate de un cuerpo de documentos característico del campo tecnológico en estudio. Dicha estrategia comprendió palabras claves representativas para el caso de artículos científicos, e incluyó clasificadores internacionales para el caso de las patentes de invención.



Figura 1. Metodología de trabajo empleada para el análisis de patentes de invención y artículos científicos

Para el análisis tendencial, se identificó cada tipo de electrolito de acuerdo al clasificador internacional correspondiente, en el caso de patentes, y de acuerdo a la frecuencia de aparición de términos característicos pertenecientes al campo de palabras claves indexadas, en el caso de artículos científicos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1) Estado de la Técnica

En la batería, el electrolito tiene como principal objetivo actuar como conductor iónico para permitir el transporte de iones entre los dos electrodos. Los requisitos a satisfacer por el electrolito son: alta conductividad iónica, estabilidad química y térmica, estabilidad

electroquímica dentro del rango de tensión de trabajo, inflamabilidad reducida, proporcionar aislamiento eléctrico entre los electrodos y buen contacto electrodo/electrolito, y bajo costo. [1]

La Tabla 1 describe los distintos tipos, ventajas y limitaciones de electrolitos que se han investigado en los últimos años para el desarrollo de LBs, y que pueden encontrarse como líquido, sólido o gel. Para la elaboración de esta tabla, se han considerado sólo los electrolitos que están siendo usados en produc-

ción de LBs convencionales, que intercalan iones de litio entre sus electrodos.

Las últimas tendencias en el desarrollo de LBs presentan los sistemas Li-S y Li-Aire (no incluidos en la Tabla 1) generando gran expectativa en la comunidad científico-tecnológica debido a su alta densidad de energía teórica, que supera en gran medida a las alcanzadas por las convencionales baterías de litio. Sin embargo, queda un largo camino que recorrer para superar las limitaciones que presenta el desarrollo comercial de cada una de ellas. [2-5]

**Tabla 1 – Estado de la técnica de electrolitos empleados en las baterías de litio.**

Descripción	Características	Referencias
<b>Electrolitos Líquidos Orgánicos</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se constituyen a partir de sales de litio disueltas en solventes orgánicos polares apróticos y aditivos que se incorporan para diversos fines.</li> <li>- Los disolventes más utilizados son una combinación de carbonato de etileno, carbonato de di-metilo, carbonato de di-etilo, y etil-metil carbonato.</li> <li>- La sal de litio puede ser LiPF<sub>6</sub>, LiBF<sub>4</sub>, LiBOB o LiClO<sub>4</sub>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentan alta conductividad iónica, amplio rango de temperatura de funcionamiento y baja toxicidad.</li> <li>- La presencia de disolventes plantea preocupaciones en cuanto a la seguridad dado que presentan un rango de estabilidad electroquímica estrecho, elevada presión de vapor e inflamabilidad.</li> </ul>	1, 4,6 ,7 ,8.
<b>Electrolitos Sólidos Orgánicos</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pueden subdividirse en dos clases:</li> <li>a) electrolitos poliméricos completamente sólidos compuestos por una sal de litio solvatada por un polímero matriz. El polímero más utilizado es PEO con diversas sales tales como LiTf, LITFSI, LIBETI, LiCLO<sub>4</sub> y LiBOB. Otros polímeros empleados son PAN, PVDF y PMMA.</li> <li>b) electrolitos poliméricos gelificados compuestos por un polímero matriz al que se le incorpora un electrolito líquido orgánico. Como polímero matriz se han utilizado PEO, PMMA, PVDF y su copolímero con HFP, PAN, PVC y también poliacrilatos.</li> <li>- El uso de copolímeros de bloque mejora la resistencia mecánica de los electrolitos de polímero mientras se mantiene alto valores de conductividad iónica.</li> <li>- Los líquidos iónicos o sólidos inorgánicos son buenos aditivos que pueden incorporarse para mejorar las características mecánicas y de seguridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporcionan alta estabilidad electroquímica, simplicidad de diseño y reducen los riesgos de seguridad asociados a la presencia de disolventes debido a la no inflamabilidad, ausencia de fugas del electrolito, baja presión de vapor y amplio rango de temperatura de funcionamiento.</li> <li>- Son prometedores para baterías de alto rendimiento ya que presentan excelentes propiedades mecánicas y de seguridad, aunque presentan conductividades iónicas inferiores que los electrolitos orgánicos líquidos.</li> </ul>	1, 6, 9,10, 11, 12, 13.
<b>Electrolitos Líquidos Inorgánicos</b>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocidos como líquidos iónicos, son sales fundidas a baja temperatura, y que pueden utilizarse para reemplazar los tradicionales electrolitos a base de disolventes orgánicos con el fin de aumentar la seguridad.</li> <li>- Los cationes comúnmente utilizados son pyrrolidinium, piperidinium, imidazolium y sulfonium. Entre los aniones utilizados se encuentran hexafluorofosfato, tetrafluoroborato, y bis(trifluorometanosulfonil)imida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen una amplia estabilidad electroquímica, baja volatilidad, inflamabilidad reducida, baja toxicidad y una buena estabilidad térmica permitiendo su uso en un amplio rango de temperaturas.</li> <li>- Sus principales desventajas son la alta viscosidad que lleva a una baja conductividad iónica y su costo elevado.</li> </ul>	<p>6, 10, 14, 15.</p>
<b>Electrolitos Sólidos Inorgánicos</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- De acuerdo a su estructura, pueden clasificarse en vidrios, cerámicas y cerámicas vidriosas.</li> <li>- Comprenden sulfuros, óxidos y sulfatos.</li> <li>- Los más utilizados son del tipo LISICON, thio-LISICON, Garnet, Perovskite, NASICON y cerámicas de vidrio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen como ventajas un amplio rango de estabilidad electroquímica y estabilidad térmica, ausencia de fugas y contaminación.</li> <li>- Adecuados para elevadas temperaturas u otros ambientes agresivos.</li> <li>- Principal desventaja es la baja conductividad y su costo es demasiado alto.</li> <li>- Se usan en tecnologías de película delgada para reducir la resistencia interna y compensar la baja conductividad.</li> <li>- Su elevada rigidez limita su uso en dispositivos flexibles.</li> </ul>	<p>1, 6, 11, 12, 16, 17, 18.</p>

Además de los sistemas descritos anteriormente, hay un creciente interés para el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía de bajo costo y sostenibles que no utilicen litio. Una alternativa que se viene desarrollando en los últimos años está constituida por las baterías de iones de sodio, dado que el sodio es un material que se encuentra en abundancia. [2, 4]

**2) Análisis tendencial a partir de minería de datos**

En la Tabla 2 se resumen las bases de datos empleadas, sentencias de búsqueda definidas y corpus rescatados para el análisis tendencial y estadístico en Vantage Point®.

**Tabla 2 – Corpus utilizados para la minería de datos, base de datos y sentencia de búsqueda empleada para su recuperación.**

Base de datos	Sentencia de búsqueda	Corpus
<p>Patentes de invención: PatBase: cubre más de 47 millones de familias de patentes de más de 95 autoridades emisoras de todo el mundo.</p>	<p>(PD=1990:2014 and IC= H01M10/056* and (IC = (H01M10/052*) or TAC = (LITHIUM or Li or lith*))) or ((PD=1990:2014 and TAC=(Li or Lithium) and (batter* or cell*) and TI=electrolyt* and (IC= (H01M*)))</p>	<p>19474 familias de patentes actualizadas al 17 de setiembre de 2015</p>
<p>Artículos científicos: Scopus: abarca aproximadamente 18000 títulos que comprende revistas revisadas por pares, resultados preliminares de millones de documentos de conferencias, y colecciones de libros.</p>	<p>KEY ((li OR lithium ) AND (batter* OR cell*) AND electrolyt* ) AND DOCTYPE (ar) AND SUBJAREA (mult OR ceng OR CHEM OR comp OR eart OR ener OR engi OR envi OR mate OR math OR phys) AND PUBYEAR &gt; 2009.</p>	<p>4584 artículos científicos actualizados al 16 de diciembre del 2015</p>

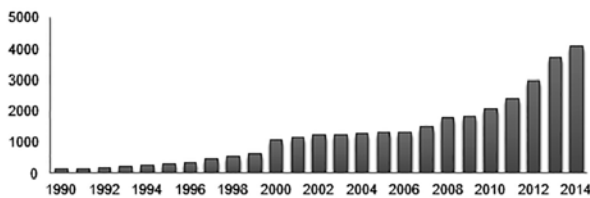
En la Tabla 3 se detallan los clasificadores internacionales y los términos frecuentes que se utilizaron para caracterizar cada clase de electrolito.

**Tabla 3: Clasificadores internacionales y términos frecuentes empleados en la caracterización de cada campo tecnológico asociados a los electrolitos de baterías de litio.**

Clasificadore	Palabras claves	Frecuencia de aparición
<b>Líquido Orgánico</b>		
<b>H01M10/0566 o H01M10/0567 o H01M10/0568 o H01M10/0569</b>	Carbonate-based electrolytes	71
	Carbonate electrolytes	50
	Organic liquid electrolytes	24
<b>Sólido Orgánico</b>		
<b>H01M10/0565</b>	Polymer electrolyte	261
	gel polymer electrolyte	184
	Solid polymer electrolyte	130
	Gel	96
	Copolymer	91
	Composite polymer electrolyte	57
	Gel electrolyte	47
	Lithium polymer battery	39
	Polymer electrolyte membrane	29
	Nanocomposite polymer electrolyte	15
	Composite gel electrolyte	13
<b>Líquido Inorgánico</b>		
<b>H01M10/0563</b>	Ionic liquid	429
	Ionic liquid electrolyte	100
	Ionic-liquid based electrolytes	13
<b>Sólido Inorgánico</b>		
<b>H01M10/0562</b>	Glass	57
	Ceramic materials	56
	Garnets	47
	Glass ceramics	44
	NASICON	34
	perovskite	30
	Glass electrolyte	17
	Ceramic electrolyte	14
	Inorganic solid electrolytes	11

## Patentes de invención

En la Figura 2 se muestra la tendencia histórica de registros de patentes para electrolitos de baterías de litio en base al número de familias de patentes por año de publicación, desde 1990 a 2014. La primera batería de Litio recargable fue comercializada en 1991 por Sony Corporation, disparando el interés por estas baterías. En consecuencia, la actividad de patentamiento aumenta a partir de ese año. Se observa un crecimiento brusco en el año 2000 debido a la introducción de dispositivos electrónicos portátiles en el mercado.



**Figura 2 – N° de familias de Patentes de Electrolitos por Año de Publicación.**

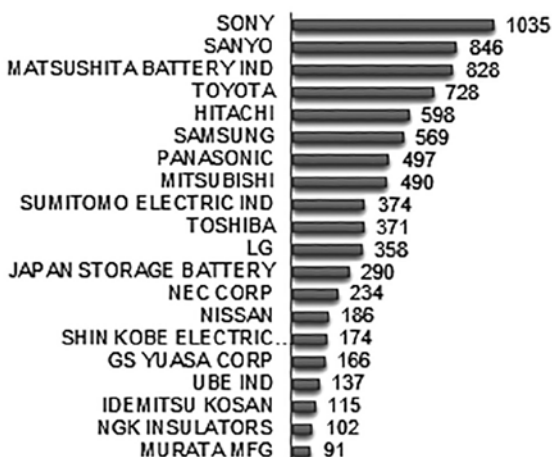
La elevada tasa de crecimiento evidenciada en los últimos años es consecuencia del desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía cada vez más eficientes y seguros. Dado que el rendimiento global de las baterías está estrechamente relacionado con el electrolito usado, la tendencia creciente en el patentamiento de electrolitos de baterías de litio destaca su importancia como componente crítico.

En la Figura 3 se representan las 20 empresas más relevantes que desarrollan electrolitos a nivel mundial. Las corporaciones que más invierten en el desarrollo de electrolitos son: Sony, Sanyo, Matsushita (Panasonic), Toyota e Hitachi. Sin dudas Japón es el país más desarrollado en este campo tecnológico.

Esto se verifica en la Figura 4 que refleja la actividad en patentamiento de los distintos países, de acuerdo a la intensidad del color. Japón, en rojo, presenta más de 13400 familias de patentes que se han originado en este país. Le siguen China, Korea y EEUU con al menos 1300 familias de patentes, Alemania y Francia con más de 200 familias y el resto de los países con menos de 200. Se ha considerado para evaluar esta situación los países prioritarios, es decir aquellos en los que fueron presentadas por primera vez las solicitudes para la protección de las invenciones, por lo tanto, representan el origen de la invención.



**Figura 4 – N° de familias de Patentes de Electrolitos por País de Prioridad.**



**Figura 3 – N° de familias de Patentes Top 20 Empresas.**

La Figura 5 muestra la evolución de la inversión en I+D de las principales 5 empresas con mayor desarrollo tecnológico en electrolitos para LBs a nivel mundial, destacándose Toyota por su creciente actividad en los últimos años. Arredondo [19] identifica las principales empresas que desarrollan actividades de I+D a nivel nacional, entre ellas Toyota, Mitsubishi y FMC Lithium. Las primeras dos, no sólo lideran el sector nacional sino que son actores tecnológicos principales a nivel internacional, mientras que de FMC Lithium sólo se encontraron 3 familias de patentes en los últimos 24 años dentro del corpus de electrolitos estudiado.

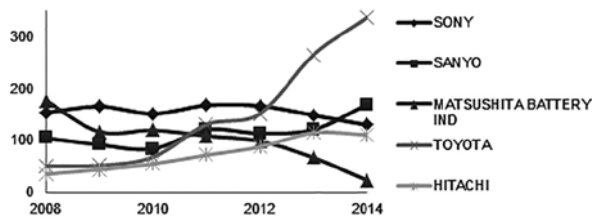


Figura 5 – N° familias de Patentes por Año de Publicación: Top 5 Empresas.

La Figura 6 muestra el número de familias de patentes por año según el tipo de electrolito. Se observa el predominio de materiales orgánicos sobre los inorgánicos. Los electrolitos líquidos orgánicos son los más utilizados comercialmente desde el desarrollo de la primera batería comercial en la década del 90, presentan el mayor número de documentos de patentes a lo largo de la historia. Se puede concluir, además, que éstos concentran los mayores recursos de I+D en la carrera por optimizar las baterías de litio en los últimos años. A pesar de sus inconvenientes asociados a la presencia de disolventes descriptos anteriormente, se mantienen como electrolitos estándar ya que satisfacen los requisitos de alta conductividad iónica y elevado contacto electrodo/electrolito, parámetros esenciales que determinan la aplicación práctica de la batería.

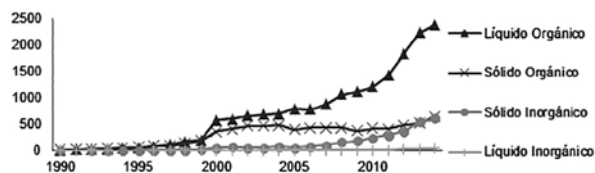


Figura 6 – N° de familias de Patentes por Año de Publicación de los distintos tipos de electrolitos.

En la Figura 7 se evidencia la preferencia por los electrolitos líquidos orgánicos de las principales corporaciones que desarrollan tecnología en el campo tecnológico estudiado, dado que presentan mayor cantidad de familias de patentes que otros tipos de electrolitos.

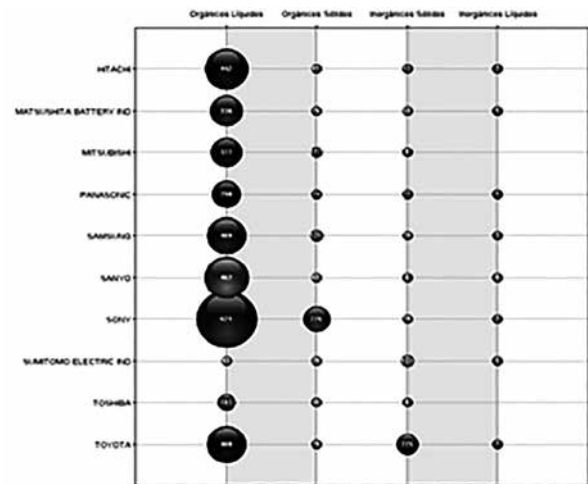


Figura 7 – N° de familias de Patentes para las TOP 10 Empresas por campo tecnológico.

Por su parte los electrolitos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, muestran un creciente desarrollo en los últimos años a través de la actividad en patentamiento. Esto se puede asociar a la necesidad de dispositivos de almacenamiento seguro, con prolongado ciclo de vida y flexible. Estas cualidades se obtienen al utilizar electrolitos sólidos con mayor estabilidad y menores riesgos debido a la reducción en el uso de disolventes. Si bien poseen menor conductividad iónica que los electrolitos orgánicos líquidos, encuentran aplicación en baterías de película delgada, donde se utilizan en forma de films de bajo espesor para disminuir la resistencia interna y compensar la baja conductividad.

Gracias a que presentan mayor conductividad, los electrolitos sólidos orgánicos han sido históricamente preferidos frente a los inorgánicos. No obstante, se observa que en los últimos años el número de familias de patentes anuales de electrolitos sólidos inorgánicos ha alcanzado a los orgánicos, y con una tendencia de crecimiento superior.

Por último, a pesar que los electrolitos líquidos inorgánicos resultan alternativas tecnológicas interesantes por ser más seguros y ecológicos, las tendencias no evidencian interés por parte de los desarrolladores de tecnología. Esto puede deberse al costo relativamente alto y a las bajas conductividades obtenidas. Sin embargo, en este estudio se ha identificado su uso como aditivos de elec-

trolitos orgánicos, con el objeto de aumentar la seguridad de la batería.

### Artículos científicos

Se observa en la Figura 8 la evolución del número de artículos científicos sobre electrolitos de baterías de litio en los últimos años. El aumento a tasa constante demuestra el interés que aún se tiene por la comunidad científica en este tipo de baterías. Como se presentó anteriormente, el desarrollo de baterías avanzadas de litio es un gran reto y sigue siendo un foco de estudio intensivo.

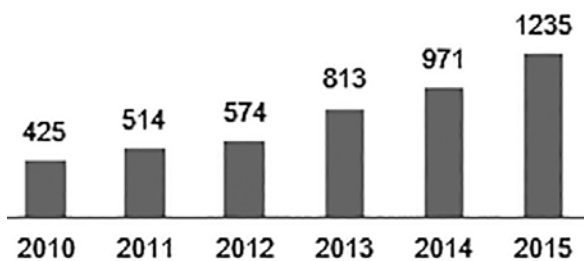


Figura 8 – Nº de artículos científicos por año de publicación.

En la Figura 9 se presenta el número de artículos científicos que han abordado las distintas clases de electrolitos durante los últimos 5 años.

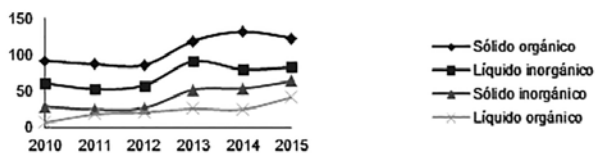


Figura 9 – Nº de artículos científicos por año de publicación para cada tipo de electrolito.

Los electrolitos sólidos orgánicos son la principal línea de investigación, lo que se evidencia por el mayor número de artículos científicos publicados. Estos son los materiales más atractivos que se presentan hoy para mejorar el rendimiento de las LBs. Sus propiedades, como conductividad iónica, resistencia mecánica y durabilidad, pueden optimizarse mediante cambios en su estructura y composición, lo que abre un amplio camino para la investigación. [6] Del análisis de palabras claves frecuentes (presentadas en la Tabla 3), surgen como objetos de investigación destacados los electrolitos poliméricos

gelificados y los electrolitos poliméricos compuestos (electrolitos sólidos orgánicos a los que se añaden partículas de cerámicas inorgánicas con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y aumentar el rendimiento). También se refleja el interés por los electrolitos copolímeros de bloque, los cuales resultan atractivos debido al equilibrio que presentan entre la conductividad iónica y las propiedades mecánicas necesarias para su uso en baterías. [12,13]

Los electrolitos líquidos inorgánicos constituyen la segunda línea de investigación más destacada. Este interés se debe a que poseen mayor estabilidad y seguridad, aunque por su elevado costo se emplean como aditivos de otros tipos de electrolitos, resultando éste un enfoque prometedor para la obtención de electrolitos híbridos eficientes y seguros. [6, 10, 15]

Los electrolitos sólidos inorgánicos ocupan el tercer lugar de importancia. Sin embargo, la pendiente de crecimiento de publicaciones en 2015 es mayor a la correspondiente a la de sólidos orgánicos (que es negativa), lo que puede reforzar lo expresado en el análisis de patentes en relación a la competencia tecnológica entre estas dos opciones. La línea de investigación en electrolitos sólidos inorgánicos se enfoca en la mejora de la conductividad iónica, dado que la baja conductividad que presentan a temperatura ambiente limita su uso a aplicaciones de alta temperatura. [6]

Los electrolitos líquidos orgánicos son los que presentan menor nivel de investigación, lo que puede estar asociado a que su desarrollo y optimización han alcanzado un elevado grado de madurez. La necesidad de baterías de alta densidad de energía, que se requieren tanto para vehículos eléctricos como para dispositivos electrónicos portátiles sofisticados, están direccionando las tendencias de I+D y desplazando a este tipo de electrolitos del foco de interés, ya que por su limitada estabilidad no son adecuados para aplicaciones de alta densidad de energía.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALBUENA, P.B. (2014). *Electrolyte materials - Issues and challenges*. AIP Conference Proceedings 1597:82-97.
- [2] AMINE, K.; KANNO, R.; TZENG, Y. (2014). *Rechargeable lithium batteries and beyond: Progress, challenges, and future directions*. MRS Bulletin 39 (5): 395-401.
- [3] YOO, H.D.; MARKEVICH, E.; SALITRA, G.; SHARON, D.; AURBACH, D. (2014). *On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion*. Materials Today 17 (3): 110-121.
- [4] ERICKSON, E.M.; MARKEVICH, E.; SALITRA, G.; SHARON, D.; HIRSHBERG, D.; DE LA LLAVE, E.; SHTERENBERG, I.; ROZENMAN, A.; FRIMER, A.; AURBACH, D. (2015). *Review-development of advanced rechargeable batteries: A continuous challenge in the choice of suitable electrolyte solutions*. Journal of the Electrochemical Society 162 (14): A2424-A2438.
- [5] LUNTZ, A. (2015). *Beyond Lithium Ion Batteries*. The journal of physical chemistry letters. Journal of Physical Chemistry Letters 6 (2): 300-301.
- [6] WANG, Y.; ZHONG, W.-H. (2015). *Development of electrolytes towards achieving safe and high-performance energy-storage devices: A review*. ChemElectroChem 2 (1):22-36.
- [7] ETACHERI, V.; MAROM, R.; ELAZARI, R.; SALITRA, G.; AURBACH, D. (2011). *Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: A review*. Energy and Environmental Science 4 (9): 3243-3262.
- [8] LI, J.; DANIEL, C.; WOOD D. (2011). *Materials processing for lithium-ion batteries*. Journal Power Sources 196 (5): 2452-2460.
- [9] HAYNER, C. M.; ZHAO, X.; KUNG, H. (2012). *Materials for Rechargeable Lithium-Ion Batteries*. Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering 3: 445-471.
- [10] BASKAKOVA, YU.V.; YARMOLENKO, O.V.; EFIMOV, O.N. (2012). *Polymer gel electrolytes for lithium batteries*. Russian Chemical Reviews 81 (4): 367-380.
- [11] FERGUS, J.W. (2010). *Ceramic and polymeric solid electrolytes for lithium-ion batteries*. Journal of Power Sources 195 (15): 4554-4569.
- [12] LEE, H.; YANILMAZ, M.; TOPRAKCI, O.; FU, K.; ZHANG, X. (2014). *A review of recent developments in membrane separators for rechargeable lithium-ion batteries*. Energy and Environmental Science 7: 3857-3886.
- [13] YOUNG, W.-S.; KUAN, W.-F.; EPPS III, T.H. (2014). *Block Copolymer Electrolytes for Rechargeable Lithium Batteries*. Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics 52 (1): 1-16.
- [14] WILKEN, S.; XIONG, S.; SCHEERS, J.; JACOBSSON, P.; JOHANSSON, P. (2015). *Ionic liquids in lithium battery electrolytes: Composition versus safety and physical properties*. Journal of Power Sources 275: 935-942.
- [15] PARK, M.J.; CHOI, I.; HONG, J.; KIM, O. (2013). *Polymer Electrolytes Integrated with Ionic Liquids for Future Electrochemical Devices*. Journal of Applied Polymer Science 129 (5): 2363-2376.
- [16] PARK, M.; ZHANG, X.; CHUNG, M.; LESS, G.B.; SASTRY, A.M. (2010). *A review of conduction phenomena in Li-ion batteries*. Journal of Power Sources 195 (24): 7904-7929.
- [17] TAKADA, K. (2013). *Progress and perspective of solid-state lithium batteries*. Acta Materialia 61 (3): 759-770.
- [18] KNAUTH, P. (2009). *Inorganic solid Li ion conductors: An overview*. Solid State Ionics 180 (14-16): 911-916.
- [19] ARREDONDO, M.; CÁMARA, C.; ODINO, V.; GRABOIS, M. (2014). *Producción de pilas de litio: Estudios para la implementación de un proceso de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva*. Congreso Internacional "Ingeniería 2014 – Latinoamérica y Caribe" – Buenos Aires – Noviembre 2014.
- [20] ARAVINDAN, V.; GNANARAJ, J.; MADHAVI, S.; LIU H.-K. (2011). *Lithium-Ion Conducting Electrolyte Salts for Lithium Batteries*. Chemistry - A European Journal 17: 14326 – 14346