

TENDENCIAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LAS BATERIAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

LADY TATIANA BERMÚDEZ RODRIGUEZ

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Política Científica e Tecnológica, Brasil
tatianalady@ige.unicamp.br

FLÁVIA LUCIANE CONSONI

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Política Científica e Tecnológica, Brasil
flavia@ige.unicamp.br

RESUMEN

Los vehículos eléctricos representan una de las alternativas a los sistemas de propulsión tradicional, porque alcanzan una mejor eficiencia energética, disminuyen la dependencia de combustibles fósiles y reducen las emisiones de CO₂, de contaminantes y de materiales particulados que generan impactos al medio ambiente y a la salud humana. A pesar de los beneficios que conlleva la utilización de vehículos eléctricos, estos tienen que superar problemas tecnológicos asociados a la optimización y desempeño de las baterías: su tiempo de recarga, la autonomía de circulación, su peso, volumen, seguridad, densidad energética, costo, vida útil e impacto sobre el medio ambiente (ROSOLEM ET AL, 2012). Así, las baterías son consideradas el cuello de botella de los vehículos eléctricos y configuran una tecnológica demandante de nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos. El objetivo del presente artículo es identificar las principales tendencias científicas y tecnológicas asociadas a las baterías para vehículos eléctricos, a partir de un ejercicio de vigilancia tecnológica. Para la identificación de tendencias científicas se utilizó la base de datos *Scopus* que recopila información de artículos científicos, y para la identificación de las tendencias tecnológicas se utilizaron las bases de datos de las principales oficinas de patentes y se analizaron con la ayuda del software de patentes *Questel Orbit*. Los resultados del ejercicio de vigilancia tecnológica señalan que la dinámica de publicación de artículos y de patentamiento es creciente, lo que indica un interés académico y de desarrollo tecnológico en la temática. Los hallazgos del ejercicio de vigilancia tecnológica tienen un carácter estratégico para las universidades y empresas que realizan investigaciones y desarrollos tecnológicos en baterías para vehículos eléctricos, pues les permite identificar el entorno actual de las baterías, sus tendencias futuras, las principales temáticas en investigación y las tecnologías clave.

1. INTRODUCCIÓN

La industria automovilística es una de las más importantes en el ámbito mundial, considerada estratégica en muchas economías debido a su impacto en la generación de empleos, en la producción industrial, en el desarrollo tecnológico y en el medio ambiente. De acuerdo con OICA (2015), en el 2014 fueron fabricados en el mundo más de ochenta y ocho millones de vehículos que emplean directamente 9 millones de personas (aproximadamente 5% del empleo manufacturero global) y otros 50 millones de empleos indirectos en actividades manufactureras y servicios relacionados.

Sin embargo, esta industria es una de las más contaminantes del mundo. De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el sector transporte tiene impactos negativos en la salud, relacionados con la calidad de aire, la contaminación auditiva y es responsable por casi 22% de las emisiones globales de CO₂.

En este contexto, la industria automovilística tiene como desafío mejorar sus procesos productivos, reducir el consumo de energía y ofrecer productos (vehículos y autopartes) “ambientalmente amigables” a un mercado con mayor conciencia ambiental. Los vehículos eléctricos (eléctricos a batería, híbridos o *plug-in*¹) representan una de las alternativas a los sistemas de propulsión tradicional, porque alcanzan una mejor eficiencia energética, disminuyen la dependencia a los combustibles fósiles y reducen las emisiones de CO₂ y de los contaminantes y materiales particulados que generan impactos en el medio ambiente y en la salud humana.

Aunque los vehículos eléctricos sean considerados como una de las principales alternativas a los sistemas de propulsión tradicional, aun tienen que superar problemas tecnológicos, de infraestructura y barreras institucionales, políticas e culturales en un contexto social y económico que continua favoreciendo el sistema de motor a combustión interna.

Los problemas de infraestructura están asociados a que aun no existe un red de recarga consolidada para los vehículos eléctricos, que cumpla con las diferentes características de cada tipo de vehículo y al servicio al cual están destinados. Los vehículos eléctricos requieren de grandes inversiones en infraestructura la cual puede ser de dos tipos: sistemas de intercambio de baterías o recarga (DIKJ, ORSATO E KEMP, 2013).

Con respecto a las barreras sociales y económicas las grandes ensambladoras, las compañías petroleras y diferentes instituciones gubernamentales continúan privilegiando los sistemas tradicionales de propulsión generando un *lock-in* basado en los combustibles fósiles. Este *lock-in* del complejo técnico institucional implica que hay muchas fuerzas e interacciones entre sistemas tecnológicos e instituciones que dificultan cambios para nuevos patrones. La infraestructura tecnológica e institucional promueve la adopción de determinada tecnología (UNHUN, 2000, 2002, 2006). En este caso, el diseño dominante en la industria automovilística continúan siendo los vehículos con motor de combustión interna.

Los problemas tecnológicos están principalmente asociados a la optimización y desempeño de las baterías: su tiempo de recarga, la autonomía de circulación, su peso, volumen, seguridad, densidad energética, costo, vida útil, impacto en el medio ambiente, entre otros (ROSOLEM ET AL, 2012).

Así, las baterías son consideradas el cuello de botella de los vehículos eléctricos y configuran una tecnología demandante de nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos. Las empresas de baterías tienen un papel clave porque pasan a ser el elemento más importante de la cadena de valor de los vehículos eléctricos como proveedores de energía que permiten la movilidad, substituyendo las empresas petroleras.

¹ La energía para los vehículos eléctricos a batería es generada a partir de un conjunto de baterías que son recargadas en la red eléctrica; los vehículos híbridos tienen de manera simultánea, un motor eléctrico con energía ofrecida por una batería y un motor de combustión interna convencional; los vehículos eléctricos *plug-in* son una combinación de las dos tecnologías, y puede ser alimentado a partir de ambos combustibles, líquidos, convencionales y a partir de la red eléctrica.

En este contexto y debido a la importancia de las baterías para los vehículos eléctricos, el objetivo del presente artículo es identificar las principales tendencias científicas y tecnológicas asociadas a las baterías para vehículos eléctricos, a partir de un ejercicio de vigilancia tecnológica. En la primera parte se describen las diferentes tecnologías asociadas a las baterías para vehículos eléctricos. En la segunda parte, se explica la metodología del ejercicio de vigilancia tecnológica de artículos científicos y patentes. Posteriormente, se detallan los resultados del ejercicio donde se identifican las principales tendencias científicas y tecnológicas de las baterías para vehículos eléctricos y finalmente las consideraciones del artículo.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Son varios los tipos de baterías disponibles para vehículos eléctricos, tales como Ion-litio, NiMH (Níquel-hidreto metálico), ZEBRA (Zeolite Battery Research Africa Project)² y versiones avanzadas de las tradicionales baterías PbA de plomo-ácido como PbA-EFB (Enhanced Flooded Battery)³ y PbA-EFB (Enhanced Flooded Battery)⁴.

Dentro de las diferentes tecnologías de baterías para vehículos eléctricos, se destacan las baterías Ion-litio por su mayor densidad energética, mayor nivel de potencia, menor peso y menor impacto ambiental en relación a las baterías plomo-ácido. Las baterías Ion-litio también tienen diferentes categorías y aplicaciones, y los “ánodos y cátodos pueden contener varios materiales en sus composiciones. El material más frecuente para los ánodos es el grafito (C), en tanto que los cátodos pueden ser de varios tipos” (BNDES, 2013). Las principales categorías de las baterías ion-litio son: Óxido de litio-cobalto (LCO); Litio-manganeso spinel (LMO); Fosfato de hierro-litio (LFP); Litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC); e Litio-níquel-cobalto-aluminio (NCA). (ROSOLEM ET AL, 2012, ELEMENT ENERGY 2012).

También hay soluciones alternativas a las baterías para generar energía a los vehículos eléctricos como los supercapacitores, las células de combustible y los *flywheels* o volantes de inercia. Los supercapacitores son dispositivos que almacenan energía, logrando liberarla rápidamente, al contrario de las baterías que liberan energía gradualmente. Las células de combustible o pilas de combustible consisten en un dispositivo que genera energía eléctrica por medio de una reacción química como el oxígeno y un agente oxidantes, generalmente hidrógeno. Los *flywheels* o volantes de inercia “son utilizados con el objetivo principal de almacenar energía en forma cinética, son capaces de absorber e generar alta potencia con alta eficiencia, lo que es muy atractivo para aplicaciones en vehículos eléctricos (RIBEIRO Y GONÇALVES, 2014).

Además, según ELEMENT ENERGY (2012) existen varias tecnologías en fase de laboratorio/prototipo que tienen el potencial de ofrecer un desempeño superior a la batería, como baterías litio-azufre e baterías litio-aire. Estas tecnologías aun tienen que superar desafíos tecnológicos para estar disponibles en el mercado. Sin embargo, aun no hay claridad acerca de cual sería la tecnología dominante para las baterías de los vehículos eléctricos.

De acuerdo con esta caracterización y con la revisión de varios *Roadmaps* y ejercicios de vigilancia tecnológica tales como: BCG (2010); DIXON (2010); EUROBAT (2012);

² También llamadas baterías de sodio o sal fundida, porque utilizan sal fundida como electrolito.

³ Batería convencional de plomo-ácido mejorada que permite el uso de una función *star-stop* básica.

⁴ Baterías de plomo-ácido reguladas por válvulas, también llamadas baterías selladas.

FRAUNHOFER (2013); FRIESKE (2013); GOLEMBIESWIKI (2015); HAWAMOTO (2010); ISSASTIA (2009); MITI (2005); MURPHY (2013); NAVIGANT RESEARCH (2014); OLTRA (2009); SCROSATI (2010) y YUAN (2014), se determinó que las baterías seleccionadas para la realización del ejercicio de vigilancia tecnológica son las siguientes:

- Baterías de plomo-ácido.
- Baterías Ion-Litio.
- Baterías de Níquel-Hidreto Metálico.
- Baterías Zebra.
- Baterías Litio-azufre.
- Baterías Litio-aire.
- Células de combustible.
- Ultracapacitores.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la identificación de las tendencias científicas y tecnológicas de las baterías para vehículos eléctricos fue la aplicación de un ejercicio de vigilancia tecnológica. La Vigilancia Tecnológica surge como una herramienta que permite, a través de un proceso sistemático, analizar y organizar la información para la mejor toma de decisiones. “La *Vigilancia Tecnológica (VT)* y la *Inteligencia Competitiva (IC)* es un proceso sistemático en el que se capta, analiza y difunde información de diversa índole—económica, tecnológica, política, social, cultural, legislativa—, mediante métodos legales, con el ánimo de identificar y anticipar oportunidades o riesgos, para mejorar la formulación y ejecución de la estrategia de las organizaciones” (SÁNCHEZ Y PALOP 2002).

Según ASHTON Y STACEY (1995) “la Vigilancia Tecnológica es el Proceso de búsqueda, obtención, análisis y empleo de la información sobre desarrollos y tendencias del ámbito científico y tecnológico, que es de alto valor para la competitividad de la empresa, y por lo tanto, es útil para la toma de decisiones estratégicas”.

Con relación a los antecedentes de la Vigilancia Tecnológica, en un comienzo solo se aplicaba en grandes empresas, que contaban con grandes recursos para investigación y desarrollo.

La práctica de Vigilancia Tecnológica se originó inicialmente en Departamentos de Investigación y Desarrollo I+D de empresas multinacionales. En aquel tiempo, las empresas vigilaban de cerca la evolución y el avance de la competencia, por medio de la revisión de literatura científica y la identificación de patentes que permitiera conocer la línea de investigación y los avances obtenidos en tal línea. Con esta información, las empresas generaban los elementos de información de manera oportuna los cuales permitieron tomar decisiones estratégicas ya sea para adelantarse a la competencia en el desarrollo y lanzamiento de producto, mejora de los productos existentes o abandono de líneas de productos (AGUILERA, 2009).

Actualmente, la práctica de la vigilancia tecnológica se ha propagado y difundido en todo tipo de organizaciones, desde pequeñas, medianas y grandes industrias, sectores productivos, instituciones gubernamentales, hasta centros de investigación y universidades.

Es importante resaltar que el proceso de Vigilancia Tecnológica exige la búsqueda exhaustiva en fuentes secundarias (electrónicas o no) y fuentes primarias como expertos y actores

importantes del tema sobre el que se está investigando. A continuación se describen las fases del ejercicio de vigilancia tecnológica.

Fase 1. Definición de temas y objetivos: En esta fase se determinaron los objetivos del ejercicio, las tecnologías objeto de vigilancia y el alcance del tema a vigilar. También se definieron las palabras clave y las ecuaciones de búsqueda, a partir de una revisión preliminar en fuentes secundarias y con el apoyo de una experta⁵, que permitió guiar el proceso, interpretar la información y orientar las decisiones tecnológicas.

Para la definición de las palabras-clave y la construcción de ecuaciones de búsqueda, se realizó una revisión bibliográfica de *RoadMaps* tecnológicos, ejercicios de vigilancia tecnológica e informes de las principales empresas y centros de investigación que tienen desarrollos en baterías para vehículos eléctricos.

Fase 2. Identificación, búsqueda y captación de información: En esta fase se seleccionaron las fuentes y las bases de datos de patentes y artículos científicos, que permitieron la identificación de tendencias científicas y tecnológicas. Para la identificación de las tendencias científicas se utilizó la base de datos *Scopus* la cual recopila artículos científicos. La ventaja de utilizar esta base de datos es que recopila la información de literatura científica en varias áreas de conocimiento: ciencia, tecnología, medicina, ciencias sociales y artes y humanidades. Para la identificación de las tendencias tecnológicas se utilizaron las bases de datos de las principales oficinas de patentes.

Fase 3. Almacenamiento de la información: A partir de la información recolectada, esta se almacenó de forma estructurada con la ayuda de bitácoras de búsqueda que permitieron la organización de la información para su posterior análisis.

Fase 4. Análisis de la información: En esta fase se depuraron y procesaron los registros, con el apoyo del software *Questel Orbit* el cual es un sistema de búsqueda y análisis de informaciones contenidas en patentes y diseños industriales. Este sistema tiene herramientas de análisis estadístico y correlacionar, que permite la generación y visualización de gráficos sobre grandes conjuntos de patentes⁶. Para el análisis de los artículos científicos se utilizó la herramienta “*Analyze search results*” de la base de datos *Scopus* que permite visualizar y organizar los resultados de la búsqueda. Las gráficas se elaboraron con la ayuda del paquete Excel de Office.

Los principales tópicos analizados fueron los siguientes:

- Dinámica de publicación e patentamiento: Evidencia el número de artículos y patentes publicadas en determinado período de tiempo.
- Países líderes: Son los países que publican un mayor número de artículos y patentes, por lo cual se consideran líderes en el tema de investigación.
- Instituciones líderes: Son las instituciones líderes que publican y patentan y se pueden considerar como aliados estratégicos.
- Principales temáticas: Indica las principales temáticas a través de las palabras-clave.
- Clasificación Internacional de Patentes (CIP): Clasifica las patentes de acuerdo a las temáticas de la invención.

⁵ Para este caso se consultó a María Fátima Rosolem, ingeniera química con Maestría en Electroquímica de la Universidad de São Paulo, actualmente trabaja en CPqD como investigadora en el área de sistemas de energía y tiene más de 20 años de experiencia en el tema de baterías.

⁶ El acceso a este sistema es a través del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Estatal de Campinas UNICAMP.

- Redes de colaboración entre países e instituciones: Muestra la articulación entre instituciones e países líderes.

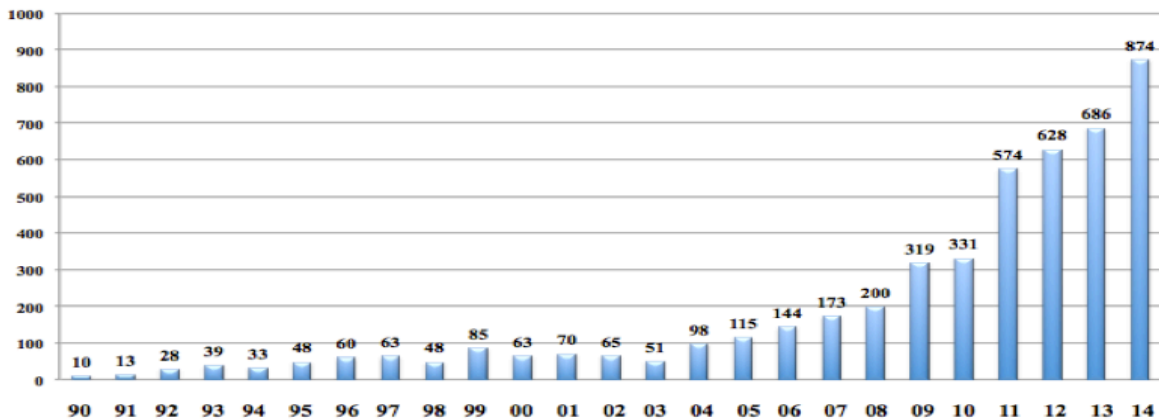
4. RESULTADOS

En esta sección se presentan los principales resultados del ejercicio de Vigilancia Tecnológica, aplicado a una selección de las tecnologías de baterías para vehículos eléctricos consideradas como las más relevantes. Estas tecnologías fueron seleccionadas por su aparición en los RoadMaps tecnológicos, documentos de prospectiva y vigilancia tecnológica y por la recomendación del experto consultado. Con este ejercicio se pretende brindar una visión general sobre la dinámica, las tendencias y el liderazgo internacional en investigación científica relacionado con las baterías para vehículos eléctricos.

4.1 Análisis de artículos científicos

La primera parte del ejercicio consistió en la identificación de las tendencias generales de las baterías para vehículos eléctricos. Posteriormente se realizó el análisis para cada una de las tecnologías seleccionadas. El periodo de análisis fue de 1990-2014⁷.

Gráfico 1. Dinámica de publicación de artículos científicos de baterías para vehículos eléctricos 1990-2014

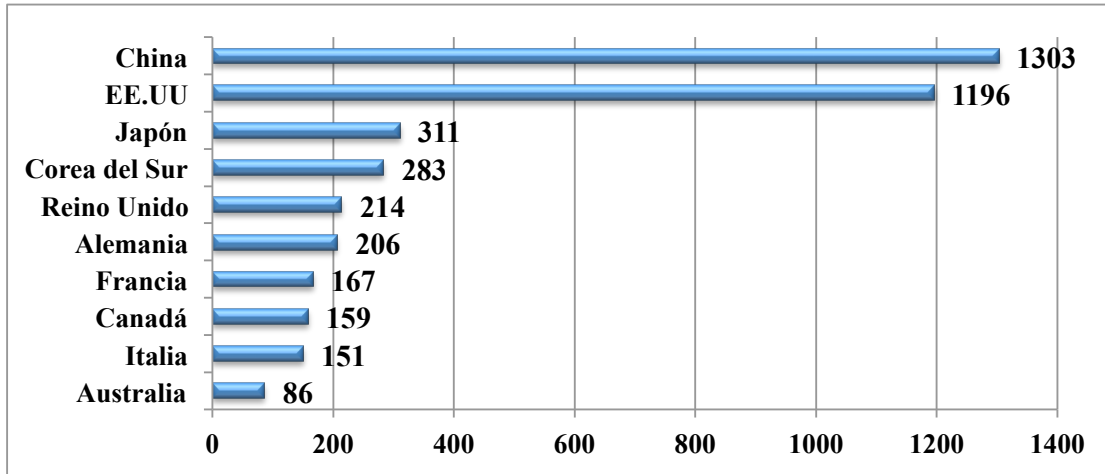


Fuente: Base de datos Scopus, procesamiento Excel.

En el periodo de análisis 1990-2014 se identificaron 4.818 artículos científicos relacionados con la temática. Se pueden observar tres periodos en la dinámica de publicación: el primer periodo 1990-2004 se puede considerar de interés debido a que el número de publicaciones es menor a 100 publicaciones y pasó de 10 artículos en 1990 a 98 artículos en 1999. El segundo periodo 2005-2010 se puede considerar de crecimiento ya que se presenta un aumento importante en el número de publicaciones, pasando de 115 publicaciones en 2005 a 331 publicaciones en 2010. El último periodo 2011-2014 se puede considerar de consolidación del interés en la temática, con más de 500 publicaciones por año.

⁷ Para este caso, solo se seleccionaron los artículos científicos y los *reviews*, no se tuvieron en cuenta otro tipo de publicaciones como conferencias y capítulos de libro.

Gráfico 2. Países líderes en la publicación de artículos científicos de baterías para vehículos eléctricos

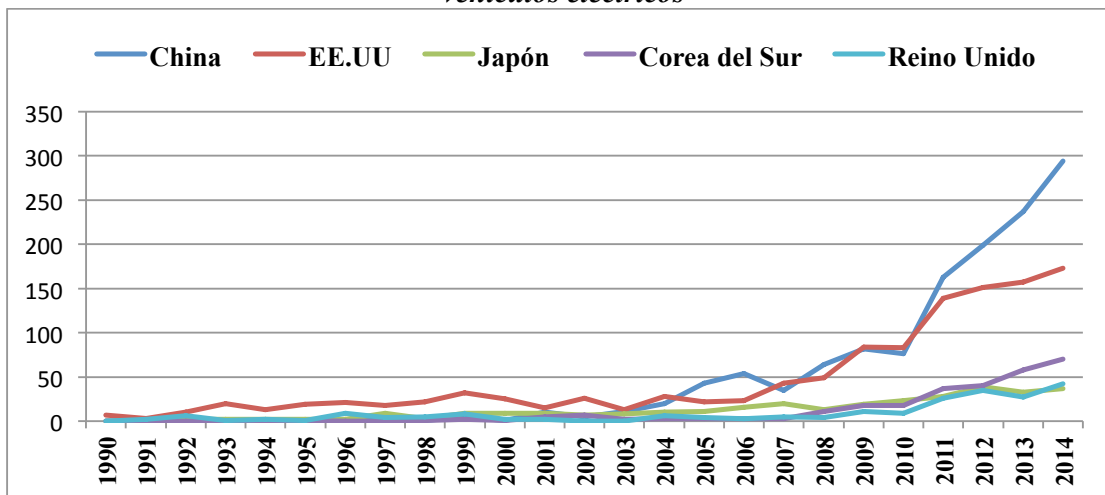


Fuente: Base de datos Scopus, procesamiento Excel.

En la publicación de artículos científicos sobre baterías para vehículos eléctricos han trabajado un total de 73 países, lo que indica que existe un interés importante en la temática. Se observa un liderazgo importante de China y Estados Unidos con más de 1.000 publicaciones en el periodo de estudio. Le siguen Japón, Corea del Sur, Reino Unido, Alemania, Francia, Canadá e Italia con más de 150 publicaciones. El décimo lugar es ocupado por Australia con 86 publicaciones.

Con respecto a la dinámica de publicación de estos países es interesante observar el crecimiento de la China que publicó 1 artículo en 1989, y ya para el año 2014 tenía 294 artículos publicados. Con respecto a Estados Unidos, este país fue líder en la publicación durante la década de los 90 y parte de la década del 2000, cuando China comienza su crecimiento. También se observa el descenso en el número de publicaciones por parte de Japón y el ascenso de Corea del Sur. En el gráfico 3 se puede observar la dinámica de publicación para los 5 países líderes.

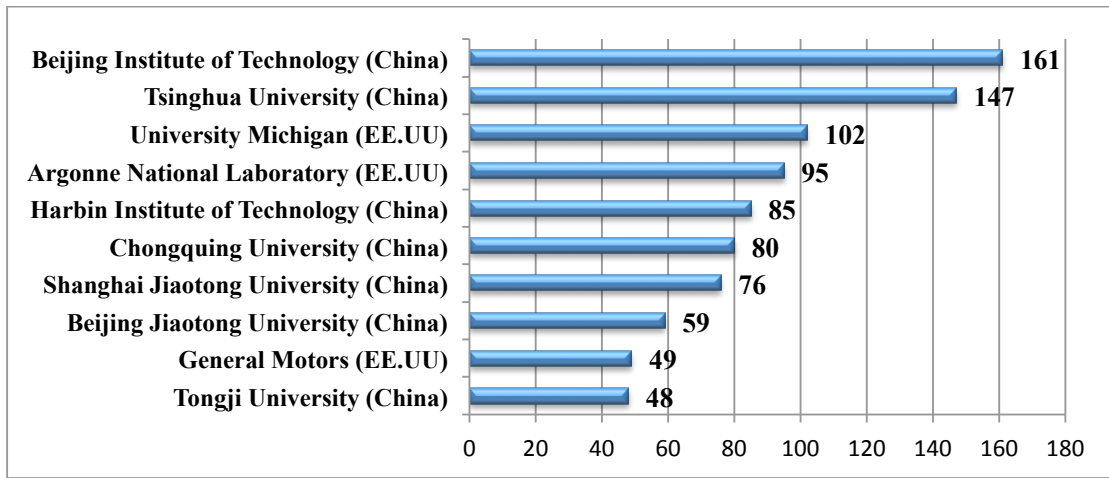
Gráfico 3. Dinámica de publicación de los países líderes en artículos de baterías para vehículos eléctricos



Fuente: Base de datos Scopus, procesamiento Excel.

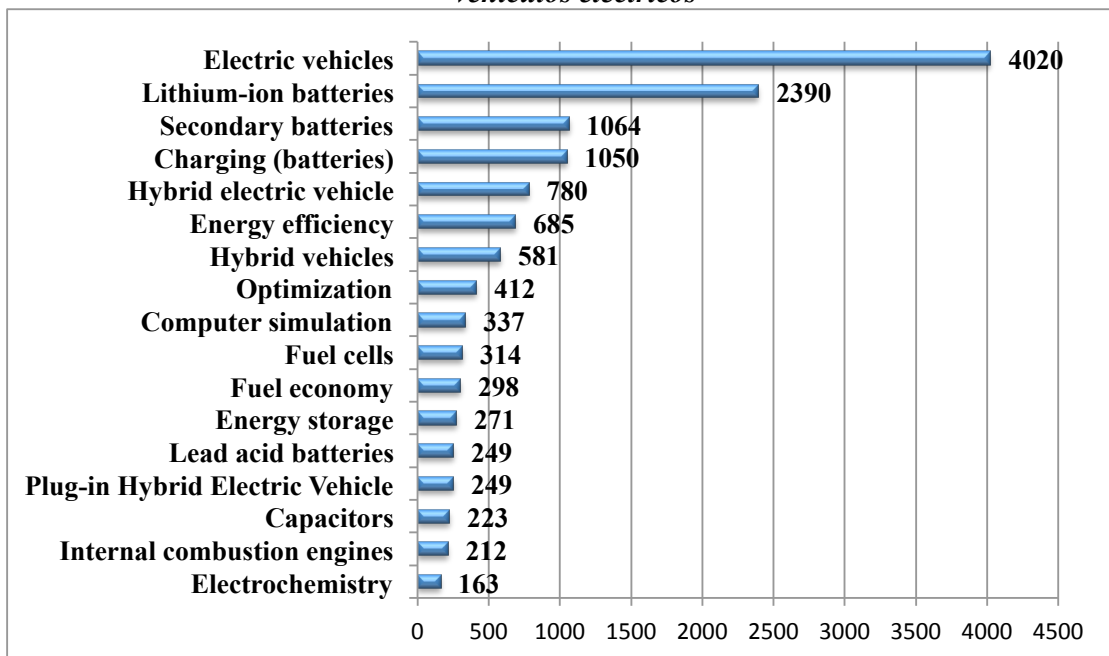
Con respecto a las instituciones líderes, se observa que entre las 10 primeras, 7 son universidades de la China: *Beijing Institute of Technology, Tsinghua University, Harbin Institute of Technology, Chongqing University, Shanghai Jiaotong University, Beijing Jiaotong University* y *Tongji University*. También se observan dos instituciones estadounidenses como el *Argonne National Laboratory* que tiene un centro de investigación y desarrollo que trabaja en tecnologías del transporte y la *Universidad de Michigan* que tiene un centro de investigación en transporte eléctrico. Se destaca la presencia de la empresa *General Motors*, única empresa automovilística entre las 10 instituciones líderes.

Gráfico 4. Instituciones líderes en la publicación de artículos científicos de baterías para vehículos eléctricos



Fuente: Base de datos Scopus, procesamiento Excel.

Gráfico 5. Temáticas clave (palabras clave) de los artículos científicos de baterías para vehículos eléctricos



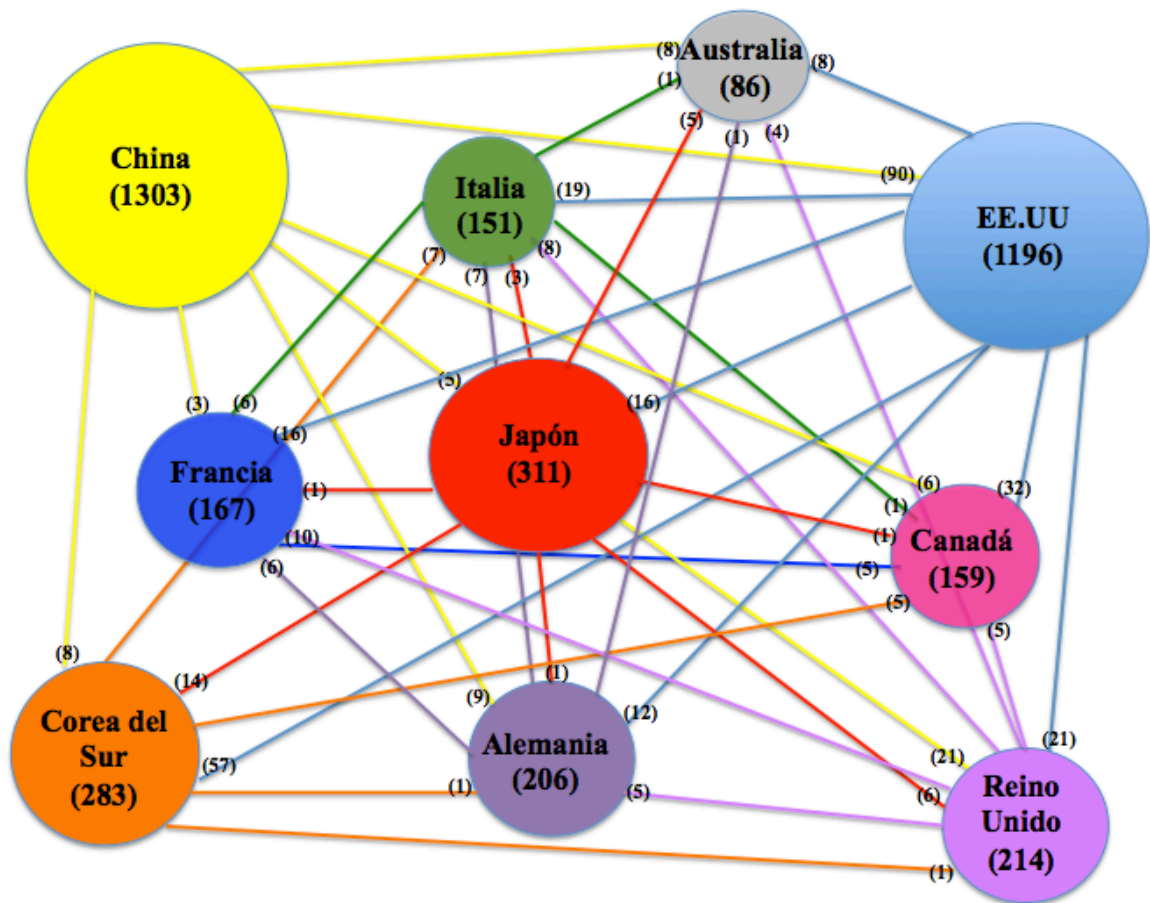
Fuente: Base de datos Scopus, procesamiento Excel.

Con respecto a las células o pilas de combustible, están también tienen una dinámica creciente en el período de análisis con 992 artículos. Aunque las publicaciones comenzaron en el año 1979, estas crecieron sistemáticamente a partir del año 1996, y ya para el 2014 contaban con 88 publicaciones.

Las publicaciones relacionadas con las baterías Niquel-hidreto metálico fueron 485 para el período analizado, estas tuvieron un crecimiento importante en el período 1999-2013, pero para el 2014 comenzaron a disminuir. Una tecnología que se considera una alternativa para las baterías y que tiene un comportamiento creciente son los ultracapacitores cuya publicación comenzó en 1991 con una publicación y ya para el año 2014 contaba con 61 publicaciones.

Las tecnologías que se consideran como emergentes son las relacionadas con las Baterías litio-aire e baterías litio-azufre que aunque tienen un crecimiento tímido, se espera que a futuro logren superar sus problemas tecnológicos para competir con las baterías ion-litio. Por su parte, las baterías Zebra, se pueden considerar una tecnología en declive ya que el número de publicaciones no supera los 10 artículos por año.

Gráfico 7. Redes de colaboración para la publicación de artículos científicos de baterías para vehículos eléctricos



Fuente: Base de datos Scopus.

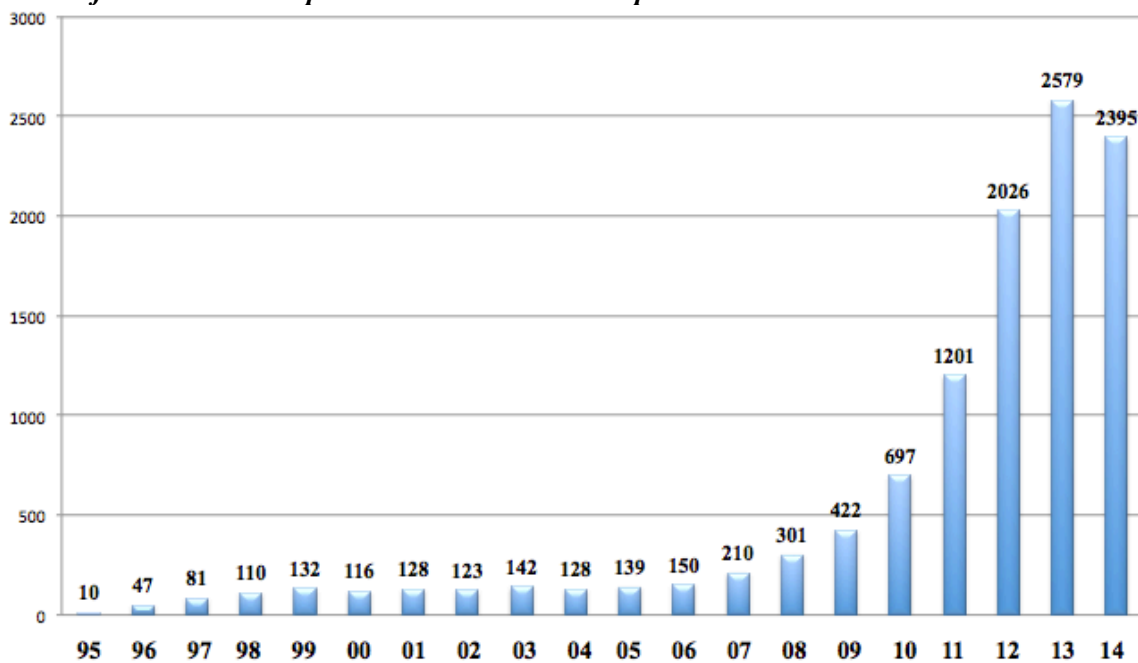
Para finalizar el análisis de las publicaciones en artículos científicos para las baterías para vehículos eléctricos, se analizaron las publicaciones conjuntas entre los 10 países líderes. Se observa que existe una red de publicación conjunta interesante, la cual es liderada por Estados Unidos, China y Japón que publican con la mayoría de los demás países líderes. Se resalta que entre China y Estados Unidos existen 90 publicaciones en conjunto. También se observa una red de colaboración importante entre Estados Unidos y Corea del Sur con 57 artículos en conjunto. Estados Unidos también colabora con Canadá (32 publicaciones) y Reino Unido (21) publicaciones. Las demás publicaciones no superan los 20 artículos en conjunto.

4.2 Análisis de patentes

A continuación se presentan la dinámica de publicación de patentes relacionadas con las baterías para vehículos eléctricos. El período de análisis seleccionado fue de 1995-2014. El número de patentes identificadas fue de 11.137 y solo se tuvieron en cuenta las patentes concedidas y las que se encuentran en trámite.

En el gráfico 8 se presenta la dinámica de patentamiento, la cual es creciente en el periodo de tiempo analizado. En el periodo 2011-2014 se presenta un crecimiento importante de la actividad de patentamiento con más de 1.000 patentes por año, lo que indica que es un tema vigente y que se están desarrollando innovaciones permanentemente.

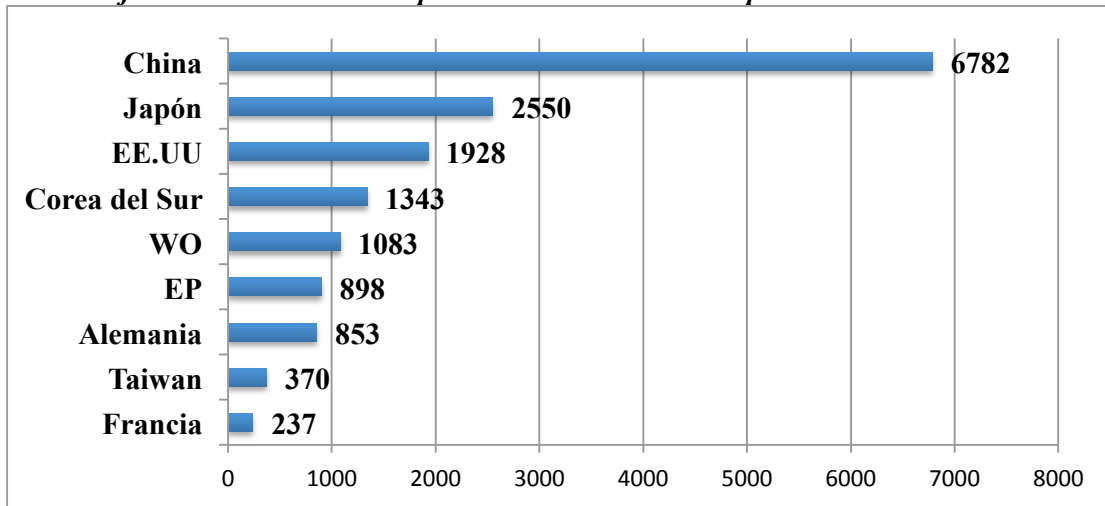
Gráfico 8. Dinámica patentamiento en baterías para vehículos eléctricos 1995-2014



Fuente: Questel Orbit, procesado con Excel.

Con respecto a los países líderes, se observa la supremacía de China con 6.782 patentes en el periodo de análisis. Le sigue Japón con 2.550 y en tercer lugar Estados Unidos con 1.928. Es interesante el crecimiento de la publicación de países asiáticos como Corea del Sur y Taiwán. La sigla WO significa las patentes que fueron depositadas a través del tratado de cooperación en patentes (PCT) y la sigla EP son las patentes depositadas en la Oficina Europea de Patentes.

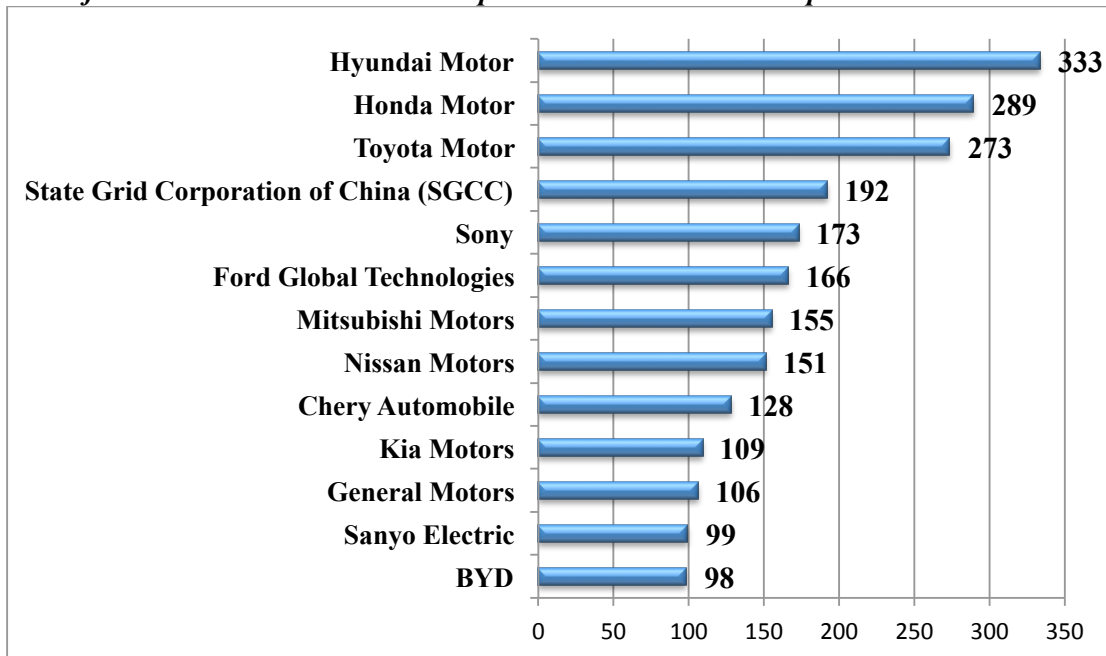
Gráfico 9. Países líderes en patentamiento en baterías para vehículos eléctricos



Fuente: Questel Orbit, procesado con Excel.

Con respecto a las instituciones líderes se observa la presencia de grandes empresas automovilísticas como las coreanas Hyundai y Kia Motors, las japonesas Honda, Toyota y Nissan y las norteamericanas Ford y General Motors. También es importante la presencia de empresas chinas como Chery Automobile y BYD (*Build your Dreams*). Aparecen empresas del sector electrónico como Sony y Sanyo Electric, que están trabajando en *joint-ventures* con las grandes ensambladoras para desarrollar baterías para vehículos eléctricos. Es interesante la participación de *State Grid Corporation of China* (Corporación estatal de la red eléctrica de China) la cual es la mayor compañía de distribución y transmisión de energía eléctrica de China, y tiene dentro de sus proyectos estratégicos la creación y desarrollo de redes de recarga para vehículos eléctricos.

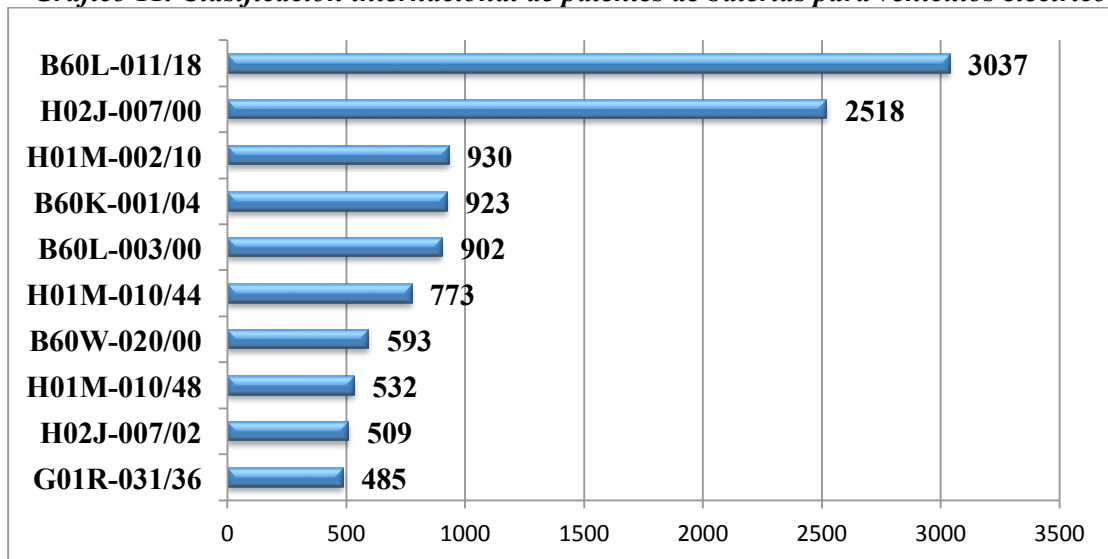
Gráfico 10. Instituciones líderes en patentamiento en baterías para vehículos eléctricos



Fuente: Questel Orbit, procesado con Excel.

En relación a las áreas tecnológicas en las cuales se encuentran las patentes identificadas se destaca la sección B que corresponde a Técnicas Industriales Diversas y Transportes y la Sección H que corresponde a electricidad. El código B60K es el principal dentro de las patentes identificadas y corresponde a Disposiciones o montaje de conjuntos de propulsión o de transmisiones sobre vehículos; disposiciones o montaje de varios motores principales diferentes. También se destaca el código H01M que corresponde a procedimientos o medios, por ejemplo, baterías para la conversión directa de la energía química en energía eléctrica. En el gráfico 11 se presenta el número de patentes para cada código internacional y en el anexo 1 se presenta el significado de cada uno de los códigos identificados.

Gráfico 11. Clasificación internacional de patentes de baterías para vehículos eléctricos

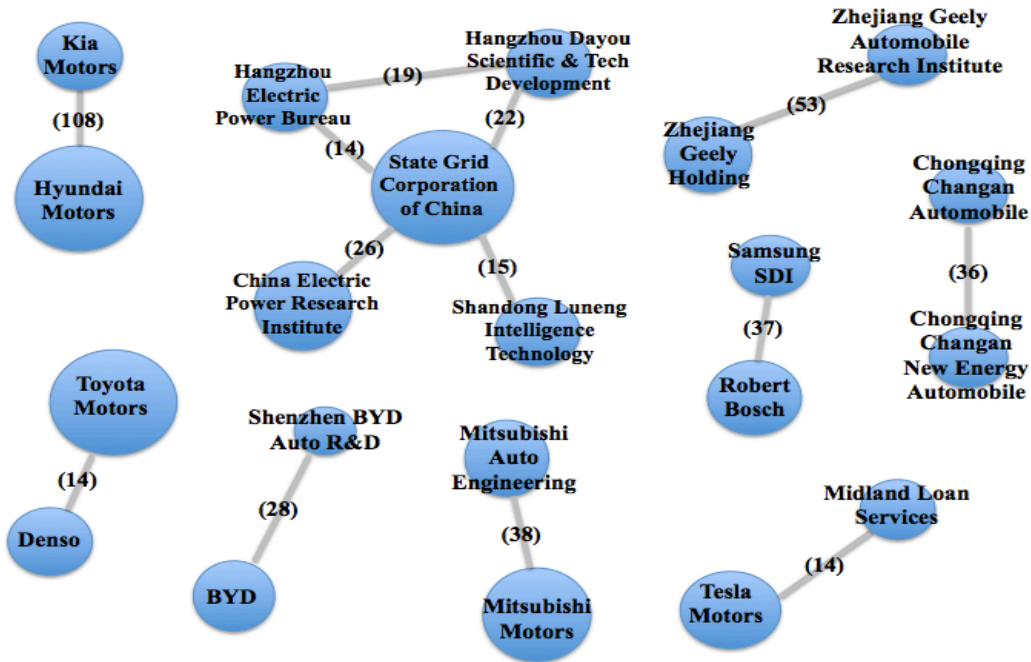


Fuente: Questel Orbit, procesado con Excel.

En el gráfico 12 se presentan las redes de colaboración entre instituciones para la publicación de patentes. Se resalta la colaboración entre instituciones chinas relacionadas con *State Grid Corporation of China* (Corporación estatal de la red eléctrica de China) y otras empresas e instituciones de investigación y desarrollo que trabajan con el tema de baterías para vehículos eléctricos como: *Hangzhou Dayou Scientific & Tech Development*, *Hangzhou Electric Power Bureau*, *China Electric Power Research Institute* y *Shandong Luneng Intelligence Technology*.

También se observan redes de colaboración entre las ensambladoras coreanas Hyundai y Kia las cuales se fusionaron; entre Toyota y la empresa de autopartes Denso; entre empresas de autopartes y empresas de electrónica como Robert Bosh y Samsung SDI; entre empresas ensambladoras y sus centros de investigación como es el caso de Mitsubishi Motors y *Mitsubishi auto engineering* y BYD con *Shenzhen BYD Auto R&D*. También es interesante el caso de Tesla que tiene 14 patentes en conjunto con *Midland Loan Services* que es una empresa que le provee servicios financieros. Es necesario resaltar que instituciones líderes en patentamiento como Honda, Sony, Ford, Nissan, Chery, General Motors y Sanyo Electric no tienen patentes en colaboración.

Gráfico 12. Redes de colaboração para la publicación de patentes de baterías para vehículos eléctricos

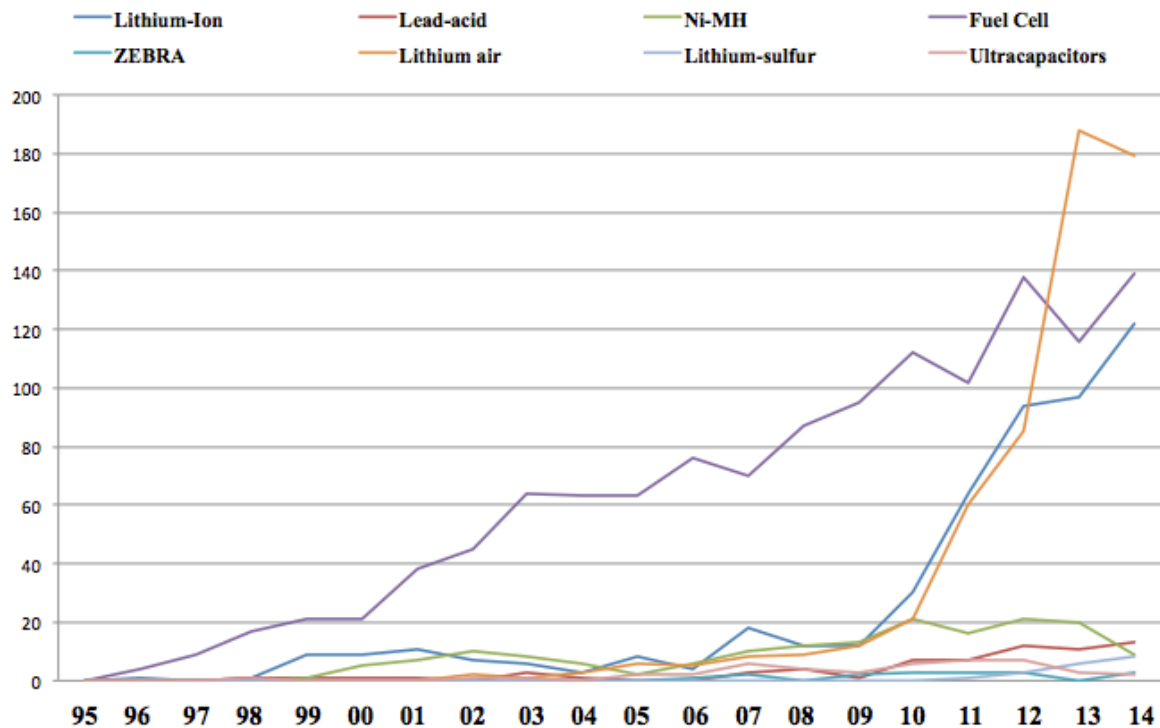


Fuente: Questel Orbit.

Para finalizar el análisis de patentes, el gráfico 13 presenta la dinámica de publicación de las tecnologías de baterías para vehículos eléctricos. Es de resaltar el liderazgo de las células de combustible en todo el periodo de análisis. Las baterías de ion-litio para vehículos eléctricos también mantienen un liderazgo importante principalmente a partir del año 2009. Sin embargo la tecnología que tiene una actividad de patentamiento creciente, especialmente en el período 2010-2014 son las baterías de litio-aire, que a pesar que es una tecnología en desarrollo, muestra señales importantes de interés por parte de ensambladoras y empresas de electrónica.

Las baterías de Níquel-Hidreto Metálico muestran un descenso en el número de patentes, lo que demostraría cierta pérdida de interés en esta tecnología. Las baterías de plomo-ácido aunque tienen actividades de patentamiento en todo el periodo, no ha logrado superar el nivel de patentamiento de las tecnologías mencionadas. Por último, tecnologías como la batería Zebra, baterías litio-azufre y ultracapacitores aun son incipientes.

Gráfico 13. Dinâmica de publicación patentes de las tecnologías de baterías para vehículos eléctricos



Fuente: Questel Orbit, procesado con Excel.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Las baterías constituyen una tecnología clave para el desarrollo de los vehículos eléctricos. Los resultados del ejercicio de vigilancia tecnológica permitieron identificar las tendencias científicas y tecnológicas de las baterías para vehículos eléctricos a través del análisis de artículos científicos y patentes. Para los dos casos, la dinámica de publicación es creciente, lo que demuestra un interés de investigación y de desarrollo tecnológico en esta temática. También se observa el liderazgo de China, Estados Unidos y Japón, sin embargo es de resaltar que China aparece en el escenario con mayor fuerza a partir de la primera década del 2000 y para el 2014 es el país líder tanto para artículos científicos como para patentes. Es importante señalar que entre los países líderes existen importantes redes de colaboración para la publicación de artículos científicos, principalmente entre Estados Unidos y China, Estados Unidos y Corea del Sur y Estados Unidos y Canadá.

En relación a las instituciones líderes, para el caso de los artículos científicos es notable el liderazgo de universidades y centros de investigación de China y Estados Unidos, y solo una empresa, General Motors, hace parte de los líderes en publicación. La importancia de identificar las instituciones líderes es que es posible generar proyectos y alianzas con otras instituciones que están trabajando en las mismas temáticas.

Con respecto a las temáticas identificadas a través de las palabras clave, se destaca la relación de las baterías con los diferentes tipos de vehículos eléctricos, las principales tecnologías de

estas baterías y el enfoque hacia los principales problemas que presentan las baterías como el sistema de recarga, la eficiencia energética, optimización y economía de combustible.

Las tecnologías seleccionadas para el análisis de artículos científicos presentan diferentes trayectorias en el periodo analizado. Por ejemplo, se observa la pérdida de liderazgo de las baterías plomo-ácido y el posicionamiento de las baterías ion-litio. Las baterías Niquel-hidreto metálico están perdiendo fuerza en la publicación de artículos, así como las baterías Zebra. Se resalta la emergencia de las baterías litio-aire, litio-azufre y los ultracapacitores como alternativas a las baterías tradicionales para vehículos eléctricos.

Con respecto a las patentes, se observa el liderazgo de las principales empresas automovilísticas como Hyundai, Kia Motors, Honda, Toyota, Nissan, Ford y General Motors. También se observa la presencia de empresas chinas como Chery Automobile y BYD (*Build your Dreams*) y empresas del sector electrónico como Sony y Sanyo Electric. Las redes de colaboración entre estas empresas es menor en comparación con los artículos científicos. El patentamiento conjunto se presenta entre empresas que pertenecen al mismo conglomerado económico como Hyundai y Kia y entre empresas ensambladoras, empresas autopartista, y empresas de electrónica. Esto puede indicar que para las grandes ensambladoras es más fácil aprovechar las capacidades desarrolladas por empresas de electrónica para incorporarlas a sus vehículos eléctricos. Sin embargo, las empresas líderes siguen patentando de manera aislada con el fin de protegerse de la competencia y asegurar una porción importante para el mercado de vehículos eléctricos.

Las principales tecnologías en las cuales se está patentando corresponden a Disposiciones o montaje de conjuntos de propulsión o de transmisiones sobre vehículos; disposiciones o montaje de varios motores principales diferentes y a los procedimientos o medios, por ejemplo, baterías para la conversión directa de la energía química en energía eléctrica.

Finalmente, la dinámica de las trayectorias tecnológicas de las patentes guarda similitud con la dinámica de publicación de artículos científicos, resaltando a las baterías ion-litio como una tecnología consolidada, la pérdida de liderazgo de las baterías plomo-ácido, y el crecimiento de las células de combustible, los ultracapacitores y las baterías litio-azufre. Con respecto al crecimiento en el patentamiento de las baterías de litio-aire estas se pueden configurar a futuro como una de las principales alternativas para mejorar el desempeño de los vehículos eléctricos.

Futuras investigaciones deben apuntar a realizar un análisis más detallado para cada una de las tecnologías identificadas para las baterías para vehículos eléctricos con el fin de analizar sus perspectivas de desarrollo e identificar cual sería la más promisoría. Sin embargo, la tecnología dominante aun está por definir.

REFERENCIAS

Aguilera, A, (2009), Conceptos básicos de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Seminario de Fundamentos de Prospectiva y Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Universidad del Valle-SENA. Santiago de Cali.

Ashton, W. Bradford & Stacey, G, (1995), Technical intelligence in business: understanding technology, threats and opportunities. En: *International Journal of Technology Management*, 1:110, 21-34.

BCG. The Boston Consulting Group (2010), Batteries for electric cars: challenges, opportunities, and the outlook to 2020.

BNDES (2013), Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. *BNDES Setorial* 37, pp. 443-496.

Dijk, M, Orsato, R, Kemp, R, (2013), “The emergence of an electric mobility trajectory”. *Energy Policy*, Vol. 52, pp.135–145.

Dixon, J, (2010), “Electric vehicle using a combination of ultracapacitors and ZEBRA battery”. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, Issue 3, pp. 943-949.

Element Energy (2012) Cost and performance of EV batteries. Final Report for the Committee on Climate Change.

Eurobat Association Of European Automotive And Industrial Battery Manufacturers, (2012), White Paper. Battery Energy Storage Solutions for Electro-mobility. An Analysis of Battery Systems and their Applications in Micro, Mild, Full, Plug-in HEVs and Evs.

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, (2013), Product Roadmap lithium-ion batteries 2030.

Frieske, B, Kloetzke, M, Mauser, F, (2013), Trends in Vehicle Concept and Key Technology Development for Hybrid and Battery Electric Vehicles. EVS27 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, *Barcelona, Spain, November 17-20, 2013*.

Golembiewski, B, Stein, N; Sick, N; Wiemhöfer, H (2015), “Identifying trends in battery technologies with regard to electric mobility: evidence from patenting activities along and across the battery value chain”, *Journal of Cleaner Production* 87 pp. 800-810.

Hawamoto, H, (2010), Trends of R&D on materials for high-power and large- capacity lithium-ion batteries for vehicles applications. *Science & Technology Trends*, Quaterly Review, n. 36, pp. 34-54.

Issastia, V, Meo, S, (2009), “Overview on automotive energy storage systems”. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol. 4, Issue 6, pp. 1122-1144.

Jiuyu Du, J; Ouyang, M (2013), Review of Electric Vehicle Technologies Progress and Development Prospect in China. EVS27 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, *Barcelona, Spain, November 17-20, 2013*.

MITI, (2005), Strategic Technology Roadmap (Energy Sector). Energy Technology Vision 2100. MITI, October.

Murphy, M and Kahl, M, (2013), Technology RoadMap: Battery Electric Vehicles. Automotive world report.

Navigant Research, (2014), Executive Summary: Electric Vehicle Batteries. Lithium Ion Batteries for Hybrid, Plug-In Hybrid, and Battery Electric Vehicles: Global Market Analysis and Forecasts.

Navigant Research (2014), Executive Summary: Next-Generation Advanced Batteries. Ultracapacitors and Lithium Sulfur, Solid Electrolyte, Magnesium Ion, Next-Generation Flow, and Metal-Air Batteries: Global Market Analysis and Forecasts.

OICA (2015) International organization of motor vehicle manufacturers <http://www.oica.net> (acceso en Febrero de 2015).

Oltra, V, Saint Jean, M, (2009), “Variety of technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): A patent data analysis”. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 17, pp. 201–213.

Ribeiro, H y Gonçalves, J, (2014), Otimização de velocidade em flywheels: estudo em sistemas duais de alimentação em veículos elétricos. Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática Belo Horizonte, MG, 20 a 24 de Setembro de 2014.

Rosolem, M.F.N.C. *et al.*, (2012), Bateria de íon-lítio: conceitos básicos e potencialidades. Cad. CPqD Tecnologia, Campinas, Vol. 8, n. 2, pp. 59-72.

Sánchez, J.M y Palop, F, (2002), Herramientas de Software para la práctica de Inteligencia Competitiva en la Empresa. Madrid: Ed. Triz XXI.

Scrosati, B, Garche, J, (2010), “Lithium batteries: Status, prospects and future”. *Journal of Power Sources*, Vol. 195, n. 9, pp. 2419-2430.

Unhuh, G.C, (2000), Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28, pp. 817-830.

Unhuh, G.C, (2002), Escaping carbon lock-in. *Energy Policy*, 30 (4), pp.317-325.

Unhuh, G.C; Carrillo-Hermosilla, (2006), Globalizing carbon lock-in. *Energy Policy*, 34, pp. 1185-1197.

United Nations. (1987) Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Brundtland Report.

Yuan, F, Miyazaki, K, (2014), Understanding the dynamic nature of technological change using trajectory identification based on patent citation network in the electric vehicles industry. Proceeding of PICMET’14: Infrastructure and service integration.

ANEXO 1. CÓDIGOS INTERNACIONALES DE PATENTES

- **B60L 11/18:** Propulsión eléctrica por fuente de energía suministrada dentro del vehículo suministrada por pilas primarias, pilas secundarias o pilas de combustible.
- **H02J 7/00:** Circuitos para la carga o despolarización de baterías o para suministrar cargas desde baterías.
- **H01M 2/10:** Monturas; Dispositivos de suspensión; amortiguadores; Dispositivos de sujeción o de transporte; Soportes (combinación estructural de acumuladores con aparatos para la carga.
- **B60K 1/04:** Disposiciones o montaje de conjuntos de propulsión eléctricos de dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica para la propulsión (para las necesidades de los auxiliares solamente B60R 16/04; aprovisionamiento de baterías para vehículos eléctricos o retirada de baterías para vehículos eléctricos.
- **B60L 3/00:** Dispositivos electrónicos de seguridad sobre vehículos propulsados eléctricamente; Control de los parámetros de funcionamiento por ejemplo, la velocidad, deceleración, consumo de energía.
- **H01M 10/44:** Métodos para cargar y descargar.
- **B60W 20/00:** Sistemas de control especialmente adaptados a vehículos híbridos, es decir, que disponen de varios motores primarios que no son del mismo tipo, p.ej. un motor eléctrico y un motor de combustión interna, todos ellos destinados a la propulsión del vehículo.
- **H01M 10/48:** Acumuladores combinados con dispositivos de medida, ensayo o indicación de estado, p. ej. del nivel o de la densidad del electrolito (indicación o medida del nivel de un líquido en general G01F 23/00.
- **H02J 07/02:** Circuitos para la carga o despolarización de baterías o para suministrar cargas desde baterías, para cargar baterías por redes de corriente alterna mediante convertidores.
- **G01R 31/36:** Aparatos para el ensayo del estado eléctrico de acumuladores o baterías, p. ej. de la capacidad o de las condiciones de carga (acumuladores combinados con dispositivos de medida, ensayo o indicación de estado.