

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
MAESTRIA EN ECONOMIA Y GESTION DE LA INNOVACION



Idónea Comunicación de Resultados

EVOLUCION TECNOLOGICA DE LAS BATERIAS DE LITIO CASO: VEHICULOS
ELECTRICOS

Por

Ing. Carola H. Rivera Cuellar

Director del Trabajo

Dr. Arturo Lara Rivero

Diciembre 2015

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	i
Introducción.....	ii
Capítulo 1. Evolución y Formación de Diversidad en la Tecnología.....	1
1.1 Evolución - Selección Natural	1
1.1.1 Selección Natural y procesos de Cambio de la Tecnología.....	3
1.2. El modelo NK de Kauffman	4
1.3. Formación de diversidad y sus límites	5
1.3.1 Espacios de posibilidades o espacio de diseños posibles	6
1.3.2 Mecanismos que incrementa la diversidad	8
1.3.2.1. Explotación o Exploración	9
1.3.2.1.1. Diseño Dominante	11
1.3.2.2. Aptitud	12
1.3.2.3. Pleitropia y atracción del os materiales	13
1.3.2.4. Especialización de las empresas	14
1.3.3 Límites a la diversidad	15
1.4. Conclusiones del Capitulo	16
Capítulo 2. Indicadores de la Diversidad en Sectores Tecnológicos.....	19
2.1 Origen de los datos	19
2.2 Indicadores que muestran causa de diversidad	22
2.2.1 Indicador de Entropía (diversidad).....	23
2.2.2 Países y empresas con especialización en baterías de Litio	29
2.2.3 Índice de Atracción	31
2.2.4 Índice de Aptitud.....	35
2.3. Indicadores que limitan la diversidad	37
2.3.1 Funcionalidad de las baterías de Litio-ion.....	38
2.3.2 Interdependencia de las baterías de Litio-ion.....	39
2.3.3 Demanda de las batería de Litio-ion.....	40
2.4. Conclusiones del Capitulo.....	40

Capítulo 3. Diversidad, Exploración y Explotación en el sector tecnológico de baterías de litio-ion.	
3.1	Producción de diversidad 44
3.1.1	Entropía..... 45
3.1.2	Generadores de diversidad 51
3.1.3	Atracción de los materiales 58
3.2	Por qué se puede limitar la diversidad de baterías de Litio-ion? 59
3.2.1	Funcionalidad de la tecnología 59
3.2.2	Interdependencia con otras tecnologías y la flexibilidad 66
3.2.3	Influencia del mercado en el desarrollo tecnológico de las baterías ... 70
3.2.3.1.	Presente y Futuro en el mercado de las baterías de Litio-ion.... 70
3.2.3.2.	Mercado de las baterías Litio-ion 71
3.2.3.4.	Competencia en los HEV y EV 73
3.3.	Conclusiones del capítulo..... 75
Capítulo 4. Conclusiones Generales..... 77	
5.	Bibliografía..... 82
Anexos. Tipos de Vehículos eléctricos..... 86	

Resumen

La tecnología se caracteriza por una fuerte interdependencia entre sectores y organizaciones. Sin embargo, todavía sabemos muy poco sobre los factores determinantes y las repercusiones de su evolución. El nivel de análisis no es capaz de explicar al 100% este aspecto puesto que gran parte de las innovaciones son: no negociables o incorporadas en los productos.

En este trabajo se propone un marco de análisis para la innovación de la tecnología de baterías de Litio-ion, con un aporte metodológico basado en información de patentes con la cual se determinan variables específicas de diversidad tecnológica y otras que dan señales de crecimiento, limitación y evolución. En el capítulo primero se consideran algunas teorías relacionadas con la naturaleza de la evolución tecnológica como “selección natural” y el “modelo NK”, así como definiciones de formación y limitación de la diversidad, todo esto con el fin de dar sustento teórico a esta investigación. En el capítulo II se consideran los factores que incrementan y limitan la diversidad, y se propone una metodología de análisis bien estructurada con patentes como materia prima para generar indicadores tales como: entropía, atracción y aptitud, todos ellos utilizados para comprobar la hipótesis. Hacia el final de este trabajo, capítulo III, se presentan los resultados obtenidos tras el manejo de la base de datos, aplicación de fórmulas, métodos matemáticos, indicadores e información estadística para finalizar con las conclusiones de estos resultados incluyendo aquellos aspectos que se han logrado y aquellos que no.

Introducción

El litio es un elemento moderadamente abundante. Sus propiedades, aplicaciones y potencial para almacenar energía, han hecho que se generen diversos estudios en los últimos años. El litio es un metal plateado blanco alcalino con el símbolo químico Li. El alto potencial electroquímico de litio permite su uso en el electrodo e incluso en el electrolito de las baterías. Otra característica que hace que sea un metal preferido es su alta potencia en relación al peso.

Dentro del sector de baterías, el Litio como material activo ha tenido su participación desde el año 1991 de forma comercial, el éxito logrado fue gracias a sus apreciadas características que dieron una clara diversidad de diseños que combinan otros elementos químicos activos, esto le ha permitido poder posicionarse dentro del rubro de baterías con el mayor rendimiento y durabilidad.

Las aplicaciones de estas baterías pueden variar desde teléfonos celulares, portátiles, vehículos eléctricos e incluso usos en naves espaciales, cada una de estas con requerimientos específicos. La diversidad que se ha ido desarrollando estos últimos años abarca diferentes sectores industriales.

Dentro del sector automotriz ha jugado un papel importante y definitivo en este último periodo con el *boom* de los vehículos eléctricos e híbridos eléctricos. Cada una de las variedades de estos vehículos poseen diferentes requerimientos energéticos los cual implica diferentes diseños, componentes y arquitectura, generando de esta forma una diversidad dentro de campo tecnológico de baterías de litio-ion.

El objetivo de este trabajo es analizar el desarrollo tecnológico de las baterías de litio-ion, específicamente el comportamiento en cuanto a diversidad, para encontrar patrones que nos permitan llegar a líneas concluyentes al respecto de su evolución tecnológica. Para ello un aporte metodológico es fundamental para comprobar la hipótesis que se plantea de la siguiente forma:

- Las causas que producen la diversidad en las baterías de litio son el resultado de esfuerzos de exploración y explotación resultantes de redes de empresas que surgen como parte de la competencia por obtener mejores resultados en el uso de esta tecnología aplicada a coches eléctricos HEV, EV y PHEV y del éxito en innovaciones radicales en el uso del litio como tecnología en baterías.

Pero si el estudio de la diversidad, es el objetivo principal, para lograr responder nuestra hipótesis entonces pensemos qué es lo que realmente la genera en este campo tan específico y cómo podríamos medirla? Cuáles son las causas para generar mayor diversidad en los diseños? Cuáles son los elementos externos o internos que podrían limitarla? A raíz de nuestras inquietudes es que formulamos las siguientes preguntas ya más estructuradas

Si el uso de las baterías de litio se ha intensificado en la categoría de coches eléctricos dentro de las diferentes arquitecturas EV, HEV, y PHEV

¿Cuáles pueden ser las causas que producen diversidad de baterías de litio en el sector de coches eléctricos HEV, PHEV y EV?

¿Cuáles pueden ser las causas que limitan la diversidad de baterías de litio en el sector de coches eléctricos HEV, PHEV y EV?

En este sentido y con el fin de dar respuesta a las interrogantes antes expuestas es que nos planteamos el siguiente objetivo general:

Explicar el cambio y las limitaciones en la diversidad de las baterías de litio-ion en el sector de coches eléctricos HEV, PHEV y EV, con respecto a avances científicos, explicativos y organizativos.

Capítulo I. Evolución y Formación de diversidad en la Tecnología

El objetivo de este primer capítulo es el de concentrar una serie de aproximaciones teóricas relacionadas con la evolución de la tecnología, para luego entrar con teorías de formación y limitación de la diversidad, en este sentido nos planteamos dos preguntas iniciales del capítulo:

- ¿Cuáles son las teorías que podrían explicar la evolución de la tecnología y cómo la representan?
- Si la evolución de la tecnología se expresa en diversidad, qué campos teóricos sustentan los aspectos de formación y limitación?

Para responder las interrogantes iniciamos con definiciones que no son meramente tecnológicas, estas aproximaciones se refieren al origen y comportamiento evolutivo de las especies; más adelante, relacionarlas con la evolución tecnológica. Hacia la segunda parte del capítulo el enfoque es sobre la formación y limitación de la diversidad, aquellos aspectos que promueven de forma positiva pero también negativa.

1.1. Evolución - Selección Natural

El modelo de Darwin (1859) de la evolución manifiesta que es un proceso de interacción entre los organismos y su entorno. La selección natural actúa sobre las pequeñas diferencias que existen entre los individuos de una población; por pequeñas que sean estas, si son provechosas para su propio beneficio, ayudan a este organismo a ocupar un nicho, adaptarse y sobrevivir. Estas variaciones, aleatorias en principio pueden ser hereditarias. “Como de cada espécimen nacen muchos más individuos de los que pueden sobrevivir y como, consiguientemente, hay que recurrir a la lucha por la existencia, se deduce que cualquier ser, si varía, aunque sea levemente, de algún modo provechoso para él, bajo las complejas y a veces variables condiciones de vida, tendrá mayor posibilidad de sobrevivir y de ser seleccionado naturalmente.” (Darwin, 1859, pág. 93). Según la selección natural y la visión de Darwin, ésta actúa como un filtro para aquellos

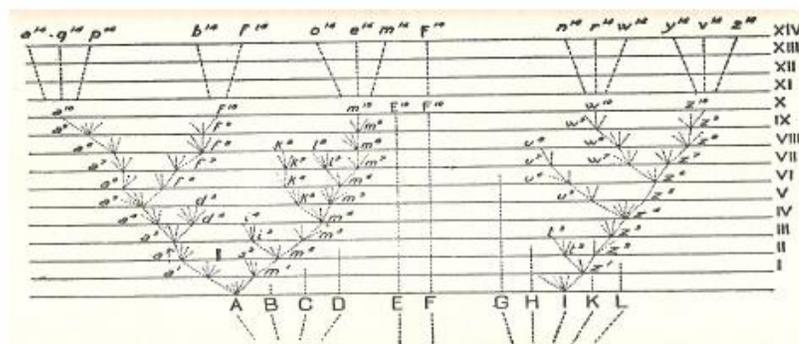
individuos menos competentes y estimula a individuos con las variaciones más aptas, de esta forma evolucionan las especies.

Dentro de este estímulo a las variaciones se van desarrollando las diferentes especies, esta evolución se expresa en diversidad que puede ser de tres maneras Page (2011):

- **Diversidad dentro de un tipo.** Son los cambios en los atributos de algunos tipos, como altura, color. Por ejemplo: En el caso de las baterías su potencia, su durabilidad o forma.
- **Diversidad entre tipos.** Esta se refiere a la diferencia entre especie, por ejemplo la diferencia entre una batería de celdas o una batería con electrolito en gel.
- **Diversidad por diferencia entre composición.** Algunos sistemas pueden tener los mismos sistemas pero diferentes componentes como Níquel Cadmio y baterías de Litio-ion (Page, 2011, pág. 21).

Sin importar cuál sea la manera en que se expresa la diversidad hay una forma interesante de poder observar el fenómeno en forma general y es la que vemos en el gráfico 1.1., el árbol de especiación presentado por Darwin en 1859 en el que representa a través del eje vertical años transcurridos, y en el eje horizontal las especies expresadas con las letras A, B, C ...L. “El diagrama ilustra los pasos por los que las pequeñas diferencias que distinguen a las variedades crecen hasta convertirse en las grandes diferencias que distinguen a las especies” (Darwin, 1859, pág. 136), por ejemplo, dada la especie A, una variación poblacional empuja a cambios en la especie, donde se acumulan de forma continua,

Gráfica 1.1 Especiación en Darwin.



(Darwin, 1859, pág. 136)

alejándose de las características originales hasta formar una variedad. Cuanto mayor es la distancia se forman otras especies como la especie B.

Darwin define que la evolución de las especies es una variación, un cambio incesante, acumulativo y gradual. En este sentido plantea la teoría del gradualismo; en ella la evolución tiene lugar mediante pequeños cambios en las poblaciones y no de manera discontinua, la evolución se plantea como continua y acumulativa, eso quiere decir que en la cadena de descendencias tenemos todas las secuencias sin espacio para saltos.

1.1.1. Selección Natural y Procesos de Cambio de la Tecnología.

En la necesidad de acercarnos a la relación entre la metáfora de selección natural y la aproximación económica evolucionista (del proceso de cambio tecnológico) planteada por Nelson & Winter en 1982 donde proponen que el comportamiento de la firma es abiertamente lamarkiano¹; eso quiere decir que contempla tanto las características hereditarias como la aparición en el tiempo de variaciones bajo los estímulos de la adversidad (Nelson & Winter, 1982).

En este enfoque se dirige la atención al comportamiento económico observado y no hacia conjuntos de posibilidades hipotéticas, considera: “procesos de cambio corrientes relacionados con la tecnología y la organización, como el problema intelectual central que debe confrontar una teoría de la empresa” (Nelson & Winter, 1982). Ésta es la forma en que se plantea la comprensión del cambio tecnológico dentro de la firma y cómo evoluciona y se diversifica.

En este contexto del cambio evolutivo Nelson y Winter subrayan la necesidad de que la teoría sobre la innovación incorpore explícitamente su naturaleza evolucionista y estocástica y permita explicar la diversidad y la complejidad organizacional y tecnológica.

¹ Lamarck (1809) en su teoría propuso que la vida evolucionaba “por tanteos y sucesivamente”, “que a medida que los individuos de una de nuestras especies cambian de situación, de clima, de manera de ser o de hábito, reciben por ello las influencias que cambian poco a poco la consistencia y las proporciones de sus partes, de su forma, sus facultades y hasta su misma organización” (Lamarck, 1809, págs. 69, 174). Sería entonces la capacidad de los organismos de adaptarnos al medio ambiente y los sucesivos cambios que se han dado en esos ambientes, lo que habría propiciado la Evolución y la actual diversidad de especies, esta teoría no concuerda con la de Darwin donde las especies más aptas sobreviven.

La naturaleza evolucionista a nivel más macroeconómico del cambio técnico se basa en la noción central de paradigma tecnológico², que involucra la definición de la tecnología y los cambios en las diferentes formas de conocimiento en las que se basa una actividad. El paradigma tecnológico aborda los problemas dentro de su marco y guía las soluciones imponiendo prescripciones en cuanto a la dirección (trayectoria³) que el cambio técnico tiene que seguir (o abandonar) y las habilidades que requiere para ello.

Es aquí donde se inicia el debate en cuanto a cómo evoluciona y se diversifica la tecnología, si en el sentido que plantea Darwin y su teoría de selección natural donde el cambio es incesante, acumulativo y gradual o si se apega más a la teoría del cambio técnico planteada por Nelson & Winter donde el cambio es la aparición en el tiempo de variaciones bajo los estímulos de la adversidad; para solucionar el debate más adelante se recurre a los resultados obtenidos a través de los indicadores y los datos de mercado quienes darán referencias concluyentes al respecto.

1.2. El modelo NK de Kauffman

El proyecto que Stuart Kauffman, como uno de los más reconocidos representantes de las teorías de la complejidad, ha desarrollado la postura evolucionista tradicional (neodarwinista), en torno al problema del orden biológico. Kauffman (1990) se plantea una propuesta teórica desde la mirada de los sistemas complejos, en el que las interacciones de genes son las determinantes de los cambios y de la evolución de un sistema.

Las ciencias o teorías de la complejidad pretenden explicar fenómenos que se caracterizan por su no-linealidad, por el grado de interrelación y sensibilidad de sus condiciones iniciales, y por presentar ciertos tipos de comportamiento, dependiendo del estado en el que se encuentre el sistema (estable, caótico, periódico, y una región que se encuentra entre lo estable y lo caótico llamada el límite del caos) (Kauffman S. , 1990) y algo como el fenómeno de la tecnología. Por otro lado la auto-organización es un fenómeno que ocurre

² La expresión toma la noción de paradigma tecnológico propuesta por Dosi (1982) para describir las trayectorias de las distintas tecnologías, y la engloba en un concepto más amplio que define una trayectoria común “metaparadigma”.

³ El concepto de trayectorias tecnológicas fue desarrollado por Dosi en 1982 en su libro paradigmas tecnológicos y trayectorias tecnológicas; define dos tipos de cambio tecnológico, cambio continuo (progreso a lo largo de una trayectoria tecnológica) y cambio radical (surgimiento de un nuevo paradigma).

en la transición de fase entre una condición estable y una caótica, es un fenómeno que se da en la región de estado conocida como el límite del caos. En esta región de transición de fase, “los más complejos comportamientos pueden ocurrir –suficientemente ordenados para asegurar la estabilidad y aun llenos de flexibilidad y de sorpresa-” (Kauffman, 1995). En esta región es donde se coordina el comportamiento complejo que llegará a producir propiedades emergentes como la vida, la evolución misma, y la formación de nuevas especies. Este fenómeno ha sido estudiado desde una diversidad de campos: la física, la química, la biología, las matemáticas, la cibernética, etc.

Kauffman ya había reconocido este fenómeno cuando, en la década de los setenta, desarrolló una herramienta de análisis llamada redes booleanas o redes NK. Las redes booleanas simulan que los genes pueden afectar el comportamiento de otros genes dentro de una red genómica. En 1996 descubrió que bajo ciertos parámetros encontrados en sus simulaciones era posible la coordinación del comportamiento de un sistema complejo.

“La selección natural es importante, pero ésta no ha trabajado sola para crear las finas arquitecturas de la biosfera: de la célula al organismo y al ecosistema. La auto-organización es la raíz del orden. El orden del mundo biológico, he llegado a creer, que no es meramente un truco, sino que surge natural y espontáneamente a partir de estos principios de auto-organización, leyes de la complejidad que nosotros estamos solamente comenzando a descubrir y entender”. (Kauffman, 1995). La auto-organización se puede entender como el proceso en el cual las interacciones locales entre los elementos de un sistema producen patrones emergentes de comportamiento sin que para ello sea necesario algún tipo de coerción o control externo. Estos patrones o comportamientos surgen en ausencia de un diseño o plan central y se consideran emergentes porque no pueden ser deducidos a partir del conocimiento total de los elementos de menor nivel ni de la naturaleza de las interacciones entre ellos. (Anderson, 2002).

1.3. Formación de diversidad y sus límites

Para poder entender cómo se forma la diversidad y al mismo tiempo cómo se limita, es necesario como primer paso entender la naturaleza de la tecnología. Para ello empecemos por describir en el siguiente apartado de una forma que pueda ser útil. Iniciemos con la

descripción de diseño, para posteriormente hablar de la estructura de diseño y culminar con su analogía con los genotipos.

Por ejemplo, las baterías pueden ser descritas en función del concepto de diseño, como Baldwin y Clark (1992) mencionan: "los diseños son una descripción detallada de los componentes y funcionamiento de artefactos. Por otro lado, los diseños pueden ser desglosados en diferentes parámetros" (Baldwin & Clark, 2002, pág. 471). Un parámetro del diseño de una batería puede ser su forma, ya sea cilíndrica, cuadrada o de botón. Existen otros parámetros como peso y potencia, que permiten caracterizar a las baterías en distintos diseños. Al conjunto de todos estos parámetros de diseño (*vgt*) y su forma de interacción se le denomina estructura de diseño (*vgt*) de un dispositivo o artefacto. Lo que resta del trabajo para un tipo de batería o tecnología será usada la palabra diseño.

Por último definamos que es un genotipo: estructura que contiene a un conjunto de genes que determinan ciertas características evidentes, dicha estructura tiene variaciones, dada la posibilidad de distintas combinaciones de genes. En general, los genes son por tanto, elementos que tienen la propiedad de combinarse y generar una baraja de genotipos y fenotipos. Una batería puede ser representada por diseños, que a su vez pueden tener parámetros de diseño de la misma forma que un genotipo. En este apartado se usarán algunos elementos del modelo NK de Kauffman, suponiendo que los genotipos pueden representar diseños de baterías con diferentes parámetros y estructuras.

Con la familiarización de los términos diseño, estructura de diseño y genotipo pasemos al siguiente apartado cuya finalidad es describir la formación de diversidad y sus límites, no sin antes especificar el campo de acción de estos fenómenos denominado como "espacio de posibilidades".

1.3.1. Espacios de posibilidades o espacio de diseños posibles

Para conceptualizar a la batería o cualquier otra tecnología en un diseño y sus parámetros, se puede pensar que la tecnología es una combinación de elementos (N) y conexiones (K) (Potts, 2000). Las combinaciones de N y K son las tecnologías, también se puede pensar que las combinaciones son los conocimientos para formar una tecnología. De tal forma que

lo anterior puede ser representado como: $S = \{N, K\}$ donde N : es un conjunto de elementos o componentes y K : son las conexiones.

Sean N elementos a , b y c y las K conexiones (bidireccionales⁴ y binomiales⁵ para este ejemplo) las posibles combinaciones son : ab , ac , bc . Cada combinación puede representar una tecnología considerando el ordenamiento, dado que contiene elementos y conexiones. Para esta investigación se considera " N " como el conjunto de elementos de una batería, a y b pueden ser dos metales que al interactuar crean un diferencial de carga. De esta forma, los metales a y b tiene la función de ser electrodos o electrolitos de una batería. Las conexiones existentes entre a y b representan a la batería como una tecnología, como una forma de producir energía.

Las baterías están formadas básicamente de 3 sistemas: ánodo, cátodo y electrolito, supongamos las conexiones $[k]$ las cuales se combinan para producir electricidad de forma química, dichos sistemas pueden estar hechos de materiales activos como zinc, carbón, níquel, litio, etc. Si cada elemento de " N " tiene el mismo " X " posibilidades de conectarse o configurarse para formar una tecnología, existirán N^X posibles diseños o combinaciones de elementos.

N^X : se define como los posibles diseños que puede tomar una tecnología, o los diseños posibles que toma dicha tecnología, denominado como espacio de posibilidades o espacio de diseños posibles.

Dicho espacio de posibilidades puede ser incrementado de dos formas; incremento en los componentes (N) o un incremento en las características (X). Los incrementos en X y N , (Page, 2011, pág. 130) los denominó; crecimiento por dimensionalidad (incremento en N o componentes) o por cardinalidad (incremento en X o características por componente).

El incremento de diversidad al que se hace referencia en esta investigación de baterías, puede considerarse de dos tipos:

⁴ Bidireccional: la información va en ambos sentidos.

⁵ Binomial: que tiene solo 2 términos

- Por variedad cuando se incrementa N o la cardinalidad del sistema, existen más características de cada elemento.
- Por tipo, cuando se añade un nuevo componente/elemento X o la dimensionalidad, podría ser resultado de una nueva aplicación.

Del espacio de posibilidades, surgen las siguientes interrogantes: a) La expresión N^X señala la diversidad posible de diseños de una batería, sin embargo ¿son posibles todos estos diseños en realidad? o ¿sólo es una posibilidad hipotética expresada en N^X ? b) Las baterías de LiCoO y LiNiO son baterías muy parecidas, sin embargo la que tiene mejor desempeño en densidad de energía es la de LiCoO, pero ambas sirven para aplicaciones muy parecidas ¿por qué coexisten ambas? ¿Por qué una tecnología antigua sigue hoy en el mercado? Si baterías de Plomo Acido actualmente están en el mercado, ¿qué elementos han permitido la subsistencia de este diseño?

1.3.2. Factores que incrementan la diversidad

Como se vio en el apartado anterior, una lista de componentes que se acoplan para luego formar diseños pueden llegar a tener N^X posibles diseños, dado este espectro de alternativas, ¿bajo qué mecanismos se llega a ese número de posibilidades? este apartado intenta contestar a esta interrogante. Para Holland (2004), Frenken K. (2000), Potts (2000) existen cuatro mecanismos sugeridos en los que coinciden para la representación en la producción de nuevos diseños o innovaciones tecnológicas: mutación, inversión, recombinación o por la aparición de nuevos genes⁶ (Lincoln, 2009, pág. 343).

- Mutación: es el cambio de una característica de un elemento que no se encontraba en el diseño, llevando a un diseño nuevo. Un ejemplo es el cambio del material activo hierro, por fosfato ferroso cambiando su característica reactiva.
- Inversión: es la inversa de una parte de un diseño, el diseño inicial puede ser cambiado, donde la formación de instrucciones son organizadas de forma inversa. Por ejemplo cambiar la composición del electrolito por la composición del electrodo.

⁶ Para otros autores como Baldwin y Clark (2000), se incluyen más: dividir y excluir.

- **Recombinación:** es el resultado de dos diseños para formar un nuevo. Aquí es interesante en el caso de las baterías por que se pueden tener diseños como: LiCoO_2 que tiene Litio y Cobalto ó la batería LiMnO_2 que tiene Litio y Manganeso; de ambas surge la LiMnNiCoO , que es la fusión de las 2 anteriores con otro adicional.
- **Agregación:** Incorporación de un nuevo componente en el diseño. Por ejemplo agregar Aluminio en el electrolito.

Para que los mecanismos anteriormente mencionados logren dar resultados en cuanto a diversidad es necesario que se consideren ciertos factores importantes que podrían facilitar estos mecanismos, dando mayor diversidad. Estos factores vienen descritos en la siguiente sección.

1.3.2.1. Explotación o Exploración?

Como mencionábamos anteriormente, para que los mecanismos de producción de innovaciones puedan darse, es importante que las empresas tomen la decisión de explotar o explorar los diseños tecnológicos. Para ayudar a diferenciar entre los conceptos de exploración y explotación, se considera que en un sector industrial existe un conjunto de empresas. En dicho sector se requieren nuevos diseños que solucionen algunos problemas tecnológicos o necesidades de mercado. En este sentido y dadas las capacidades cognitivas, de inversión y de mercado, existen 3 opciones de decisión; permanecer estáticas manteniendo sus diseños, hacer una búsqueda gradual hacia nuevos diseños y explorar con largos saltos a nuevos diseños prometedores.

Para tomar cualquiera de estas estrategias, la empresa considera dos aspectos; explorar en zonas no adyacentes o explotar lo local. Las empresas se enfrentan a varios factores como la competencia, precio de insumos, barreras tecnológicas y cambio de las preferencias de los consumidores, estos factores son relevantes en el momento de producir. Por lo anterior, la empresa tiende a la especialización de algunos productos, esto provoca que tenga una visión miope, ya que no ve más allá de la producción en su vecindad, ni nuevos productos que puedan requerir sus clientes (Levinthal & March, 1993). Sin embargo, también enfrenta

cambios en las necesidades de sus consumidores y competencia de otras empresas, por lo que esa especialización podría llevar a que sus productos salgan de ciertos nichos de mercado. Nuevos productos y desarrollos tecnológicos siempre son riesgosos, sin embargo la exploración de ellos le permite acceder a nuevos mercados.

Mientras que la explotación favorece cambios graduales y pocas variaciones, la exploración puede crear disrupciones, debido a que las empresas y consumidores podrían esperar que el diseño sea exitoso. Si sucede de esta forma, este nuevo diseño sufriría variaciones con una avalancha de innovaciones incrementales. Por lo que las innovaciones radicales son seguidas por una ola de innovaciones incrementales en busca del refinamiento de la tecnología o de nichos específicos resultados de un diseño prometedor. De esta manera emerge un proceso de exploración y después de explotación de diseños.

Según (March J. G., 1991), la exploración se define como la búsqueda de nuevo conocimiento y la explotación es el proceso en el cual se hace uso y desarrollo de conocimiento ya conocido, con esto podría darse la especialización. Bajo esta propuesta se propone el *trade-offs* en la elección de exploración o explotación de una empresa como se muestra en la tabla 1.1. a continuación:

Tabla 1. 1 Características de ambos procesos: exploración y explotación.

Característica	Exploración	Explotación
Forma de búsqueda	Búsqueda aleatoria	Refinamiento de la búsqueda
Diversidad	Variación	Diseños dominantes
Grado de Incertidumbre	Riesgo	Certeza
Combinación de estrategias	Experimentación	Implementación

Fuente. Diversidad y Complejidad en el sector de baterías, (Reyes, 2010)

Por lo anterior, Tushman y Anderson (2003) definen a la exploración como el proceso que trae consigo innovaciones radicales ya sean organizacionales o tecnológicas, y a la explotación como el proceso que abarca las innovaciones incrementales.

1.3.2.1.1. Diseño Dominante

Una definición importante que se debe mencionar es la de diseño dominante, en el sentido de que la existencia de diseños dominantes puede afectar la decisión de explorar o explotar diseños. Abernathy & Utterback, (1978) definen diseño dominante como un diseño que se encuentra estandarizado en una industria. Anderson & Tushman, (1990) se refieren a un diseño que ocupa el 51% o más del mercado en una industria. Sin embargo, en este trabajo la relación de diseño dominante tiene que ver con los periodos de estasis dentro de la explotación diseños, la falta de generación de conocimiento podría indicar la existencia de un diseño dominante posiblemente estandarizado.

En un análisis en el tiempo, pueden existir discontinuidades en un sector tecnológico debido a que el mercado está probando la mejor opción, tras la competencia emerge una tecnología como el diseño dominante y después un largo proceso de cambios incrementales continúa. El diseño dominante sufre leves modificaciones que no alteran la esencia del producto. Las dos hipótesis centrales del trabajo de Tushman y Anderson son:

- El tiempo de la era de fermentación (periodo donde el número de diseños en una industria es el mayor) es mucho más corto que el tiempo en el cual existe un diseño dominante.
- El número de alternativas o diseños tecnológicos en una clase tecnológica, son más en dicho momento que todo el tiempo de la era de cambio incremental.

Los trabajos de Tushman se han centrado en corroborar los eventos de puntuación y estasis en los sectores tecnológicos, incorporando la temporalidad; en la diversidad tecnológica y los diseños dominantes. No sólo es una cuestión de duración en el tiempo, sino también las dimensiones del cambio de forma transversal: variedad de tipos. Las innovaciones radicales inciden en la aparición de nuevas trayectorias tecnológicas⁷ y, dentro de ellas, la formación de variedades tecnológicas. Una vez que han ocupado algunos nichos, lo que siguen son

⁷ El concepto de trayectorias tecnológicas fue desarrollado por Dosi, (1982) define dos tipos diferentes de cambio tecnológico: cambio continuo (progreso a lo largo de una trayectoria tecnológica) y cambio radical (surgimiento de un nuevo paradigma).

innovaciones incrementales. Como la demanda y la competencia tienden a seleccionar sólo algunos diseños se desemboca en un decremento de la variedad.

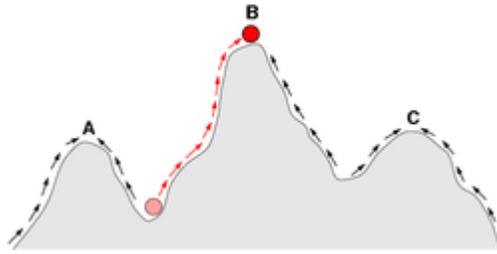
1.3.2.2. Aptitud

Para que los mecanismos generadores de diversidad puedan darse, es necesario saber si los diseños actuales son aptos para sobrevivir en el mercado, ante esta situación se interpone el paisaje de aptitud expuesto por Kauffman para explicar algunos términos evolucionistas de selección natural. Una de las más importantes presuposiciones de la tesis de Darwin es el gradualismo – la idea de que ciertas mutaciones en el genoma o genotipo pueden causar variaciones menores en las propiedades del organismo - además, se asume que estas mínimas, pero muy útiles variaciones pueden ser acumuladas “grupo por grupo” para crear el orden complejo. En los sistemas complejos, cualquier cambio, por mínimo que sea, causa cambios catastróficos en el comportamiento del sistema. Aún cuando el gradualismo se mantiene en el sentido de que ciertas mutaciones menores causan cambios menores en el fenotipo⁸, no es una consecuencia que la selección pueda, con éxito, acumular esas mejoras menores. En lugar de esto puede ocurrir lo que es llamado un “error catástrofe”. Una población en adaptación acumula entonces una sucesión de catástrofes menores más que una sucesión de mejoras menores.

Ahora bien, la noción de “*fitness landscape*” (paisaje de aptitud) desarrollada por (Wright, 1932), es una imagen de la evolución que se mueve a través de un paisaje formado de picos y valles. Un pico representa mayor aptitud (esto es, una adaptación) de un conjunto de genes (especies o agentes). Entre más alto es el pico “A, B, C” en la gráfica 1.2., mayor es la aptitud de la colección de genes. Un valle representa un retroceso en el valor de aptitud, esto es, malas adaptaciones. Entre más bajos son los valles, menores son las posibilidades de sobrevivencia. La adaptación es entonces entendida como un proceso de escalar los picos.

⁸ Los términos "genotipo" y "fenotipo" fueron creados por Wilhelm Johannsen en 1911. El **genotipo** es la información hereditaria completa de un organismo, incluso si no se expresa. El **fenotipo** es una propiedad observada en el organismo, como la morfología, el desarrollo o el comportamiento. Esta distinción es fundamental en el estudio de la herencia de los rasgos y su evolución. (Fenotipo.com, 2002)

Grafica 1.2. Paisaje de Aptitud “*fitness landscape*”



Fuente: (Wright, The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution, 1932)

Cuando se pasa de un genotipo⁹ a otro, los genotipos más exitosos van escalando dichas cumbres, la tendencia es subir aunque sea de modo gradual en los alrededores. Siempre que en la vecindad exista un genotipo más apto se toma ese camino hasta que exista otro con mayor éxito. A medida que se incrementa los elementos disponibles, las montañas aumentan de forma exponencial, siendo cada vez más difícil encontrar un óptimo global.

Toda esta representación de la evolución y sobrevivencia de las especies, está relacionada con la formación de nuevos diseños tecnológicos ya que la mecánica de supervivencia y generación de diversidad es homóloga.

1.3.2.3. Pleitropia y Atracción de los Materiales

Un factor a considerar el momento de analizar la formación de diversidad en las baterías son los componentes y los materiales que la forman, ya que estos podrían ser un motivo para generar mayor desarrollo tecnológico por su éxito o relevancia. En este sentido podemos decir que las baterías contienen varios componentes que se consideran indispensables, como electrodos, electrolitos, separadores y recipiente. La capacidad de entregar energía eléctrica depende de la reacción existente entre electrodo y electrolito, es por eso que suelen tomar el nombre del material activo que componen dichos electrodos y/ó electrolito como ser: las baterías de LiNiCO están compuestas de dichos materiales (Litio,

⁹ El genotipo representa con exactitud la composición genética del organismo (el conjunto particular de genes que posee). Dos organismos cuyos genes difieran incluso en un solo locus (posición en su genoma) se dice que tienen diferentes genotipos. (Fenotipo.com, 2002)

Níquel y Cobalto). En este apartado se describe la pleitropía¹⁰ como forma de estudiar la influencia de los materiales activos sobre el campo tecnológico¹¹ de una batería y el efecto en su diversidad.

Un material activo que se encuentra en diferentes tipos de baterías es más importante que un material que está solamente en una. Esto implicaría que el nivel de pleitropía de cada material logra subir el nivel de importancia en un campo tecnológico si su participación en la mayor cantidad de diseños es alta. Un material activo con pleitropía alta es en cierta forma, un atractor para las empresas, ya que simboliza una mayor posibilidad a combinarse con otros materiales activos, dando como resultado otras baterías u otro tipo de baterías y posibles nichos de mercado. Por otro lado, un material activo que sólo funciona en una batería puede ser menos propenso a tener mejoras en su desempeño (por el espacio de posibilidades que dispone), siendo un material periférico a nivel de campo tecnológico.

Por lo anterior, y con el fin de no confundir los términos biológicos en el análisis de la tecnología, de aquí en adelante la pleitropía podría denominarse **atracción**, representando la propensión de un material activo a combinarse con otro para formar la variedad de diseño.

1.3.2.4. Especialización de las empresas

Como se había mencionado anteriormente la explotación es el proceso en el cual se hace uso y desarrollo de conocimientos ya conocidos por medio de la especialización.

Levinthal y March (1993), plantearon los determinantes de los procesos de la exploración y explotación. En un mundo donde existe información de n factores en el mercado, así como también hay una gran cantidad de elementos que pueden ser elegidos como nuevos procesos o productos para la empresa, la firma debe elegir sólo algunos de ellos, debe limitar su aprendizaje debido a la disponibilidad de tiempo y recursos, y dicha elección debe estar asada con respecto a su experiencia: “De esta forma las organizaciones usan dos mecanismos para facilitar el aprendizaje de la experiencia” (Levinthal y March; 1993:97):

¹⁰ Pleitropía o pleiotropía (del griego pleio, "muchos", y tropo, "cambios") es el fenómeno por el cual un solo gen es responsable de efectos fenotípicos o caracteres distintos y no relacionados. (Mendel, 1866)

¹¹ Llamemos Campo Tecnológico al área de especialización dentro de las patentes podría ser por ejemplo su arquitectura: Litio-ion.

la simplificación y especialización. La empresa tiene que reducir el ruido que surge del ambiente, lo anterior se hace mediante, la simplificación y especialización. Mediante una cierta clausura, se limita de esta forma las interacciones con el ambiente, buscan la simplificación de tareas. Por otra parte, la empresa debe acceder a un nicho ya sea en su forma de producir y/o en algún producto, lo anterior con el fin de distinguirse de la competencia. La especialización permite a la organización obtener ganancias e identificarse en un nicho de mercado, la especialización forma *trade-offs*.

Cuando la empresa/organización tiende a especializarse en un nicho de mercado, el aprendizaje de la organización se vuelve miope porque ignora el largo plazo, se basa en la vecindad o localidad y omite los errores que podrían presentarse a futuro (Levinthal y March; 1993:101). Sin embargo, la especialización permite obtener ganancias a corto plazo que son más significativas que pensar en el futuro o un cambio radical en la organización.

1.3.3. Límites a la diversidad

No es posible llegar a todas las posibilidades de diversidad, ni con métodos de explotación ni de exploración. Page, (2011) plantea 5 factores, que incrementan pero también limitan las innovaciones (pueden ser radicales o incrementales), estos son: la demanda, funcionalidad, interdependencia o amplio espectro de aplicaciones, variedad de requerimientos para un diseño y coevolución.

Demanda. El número de diseños está sujeto a que estos tengan nichos de mercado o aplicaciones. Aun cuando dos diseños de baterías varían por muy poco, compiten en un nicho de mercado distinto; por precio ó desempeño.

Funcionalidad. Muchos inventos prometen un gran desempeño (pueden ser los prototipos o primeros modelos). Sin embargo, en el momento de llevarse al mercado o aplicaciones reales no son funcionales o no llegan a las capacidades esperadas. Por ejemplo, cuando se calcula la capacidad teórica definida de una batería, (determinado como la cantidad de electricidad que almacena), se establece la masa activa de cada electrodo (de materiales activos) y se calcula la energía que entrega la reacción de dichos electrodos medida en amperios por una hora. Sin embargo, los materiales activos interaccionan con otros elementos en una batería, como los separadores, cubiertas, sustratos, recipientes,

electrolitos etc, esto provoca que las reacciones lleguen a una capacidad menor que la esperada teóricamente, esto implica un límite en la creación de diversidad en las baterías, por una cuestión físico-reactiva que inevitablemente influye en los nuevos diseños.

Interdependencia. Para el desarrollo de nuevas baterías es necesario pensar no solo en el campo específico de baterías de Litio-ion, sino también debemos pensar en los sectores industriales influyentes, esto incluye algún producto dominante en algún segmento de mercado que no es el de las baterías, o algún tipo de aplicación tecnológica en auge. Por ejemplo, gran parte de las aplicaciones de baterías son para dispositivos portables, hablamos de celulares o *laptops* los cuales exigen una transformación de la industria de las baterías con nuevas exigencias técnicas. La existencia de esta interdependencia tecnológica direcciona la generación de diversidad cambiando el paisaje de aptitud.

Variedad de requerimientos para un diseño. Si existiese más de un parámetro con que se mida la eficiencia de un diseño en particular eso le permitirá tomar un nicho de mercado específico, ya que seguramente un diseño solo no puede cumplir todos.

Coevolución. La evolución de un diseño tecnológico suele depender de otras variables, por lo que diseños de diferente tipo tienen que coevolucionar para incrementar la diversidad caso contrario podrían limitarla. Un ejemplo podría ser, si tenemos una nueva batería con nuevas capacidades y nuevos rendimientos, estos nuevos valores deberían coordinar con el cerebro del vehículo ya que con estos cambios podrán verse afectados los rendimientos en general, por lo tanto, el cerebro del vehículo también de adaptarse y evolucionar en base a los nuevos parámetros.

En forma general podemos decir que los factores que limitan la diversidad en una tecnología influyen en la formación y curso de su trayectoria tecnológica.

1.4. Conclusiones del Capítulo

Finalizando el capítulo tenemos algunos puntos que consideramos importantes.

Se exponen por un lado la forma de poder representar la evolución de la tecnología por medio de la teoría de selección natural que considera el cambio como algo incesante, acumulativo y gradual, por otro lado la posición de Nelson y Winter con la teoría del

cambio técnico que es opuesta a la de Darwin donde el cambio es la aparición en el tiempo de variaciones bajo los estímulos externos. Más adelante en este trabajo se intentará evidenciar bajo cuál de las dos teorías se rige la evolución de las baterías de Litio-ion.

Hay una serie de fundamentos que respaldan el hecho de que la exploración y explotación describen la evolución de un campo tecnológico. Esto implica un incremento en la diversidad por innovaciones radicales que impactan en un sistema, encuentran nichos y dan pie a que innovaciones incrementales en busca del refinamiento. Al respecto, (Antonelli, 2008) menciona que la emergencia de un sistema tecnológico "es el último resultado de un esfuerzo de exploración, creación y explotación de complementariedades tecnológicas". La definición considera que el proceso en el que evoluciona un sistema o un campo tecnológico es un proceso de exploración/explotación.

Un tema importante acerca de la diversidad que vale la pena concluir es que según Page (2011), el esfuerzo de las empresas en la búsqueda de soluciones tecnológicas se ve plasmado en la diversidad, existe una latente transformación de todo el sistema, lo que significa que el sistema puede desembocar en nuevos diseños. Las empresas tienen que tomar la decisión de explorar ó explotar ó en dado caso ambas para la búsqueda de diseños y nuevos mercados que le permitan seguir subsistiendo.

Aunque la mayoría de los trabajos expuestos tratan de análisis sobre organizaciones consideramos que los conceptos de exploración y explotación pueden ser abordados a un nivel de sector tecnológico. La competencia y demanda como la selección natural es un filtro que mantiene a las tecnologías y empresas mejor adaptadas a los diferentes nichos de mercado. La competencia como se mencionó, obliga a las empresas a explorar o de lo contrario una excesiva explotación hará que se deprecie el conocimiento y un exceso de depreciación siempre deja latente a que la competencia pueda sustituir tecnologías.

La búsqueda de nuevos diseños y su consolidación en el mercado pareciera están marcados en dos procesos que emergen a nivel de campo tecnológico. Por un lado, el incremento de diversidad se da por una exploración de diseños, que da pie al surgimiento

de una o más trayectorias tecnológicas. Con el paso del tiempo, se deriva en un decremento de la diversidad por la búsqueda de explotación y refinamiento de los diseños más aptos. La emergencia de diversidad en un campo tiene que ser a partir de nuevos diseños que lleguen abriendo nuevos nichos de mercado, nuevos componentes que revolucionen un sistema tecnológico que permita nuevas trayectorias a pesar de los límites (Reyes, 2010, pág. 101).

Capítulo II. ¿Cómo mediremos las causas y límites a la diversidad?

Es necesario ahora concretar las medidas de diversidad, impulso y límites de la tecnología, para comprobar la hipótesis planteada en la introducción de este trabajo, el siguiente capítulo se divide en 3 partes principales, la primera relacionada el origen de los datos para calcular los indicadores más importantes y la definición de variables a través de las subclases relacionadas, la segunda parte tiene que ver con la organización y estructura de los indicadores que producen diversidad en las baterías de litio y la ultima aquellos indicadores que muestran las causas que lo limitan.

2.1. Origen de los Datos

Para esta investigación utilizaremos datos (patentes existentes) de la base de datos de la USPTO¹² (United States Patent and Trademark Office), el origen y la esencia misma de la patente nos permite construir una metodología consistente para obtener resultados confiables.

La patente contiene 2 apartados que nos interesan:

- a. Datos bibliográficos y
- b. Datos técnicos

Datos bibliográficos. Contiene información acerca de inventor(es), nacionalidad(es), empresas dueñas, origen, fecha de solicitud y otorgamiento entre otros.

Datos Técnicos. La descripción de la invención tiene la función de mostrar en qué consiste la invención de forma detallada, de tal manera que toda la información contenida en ella pueda ser divulgada. También debe contener la técnica relacionada a la invención en el momento de solicitar una patente. En la descripción también se incluye un resumen de cómo funciona el invento.

¹² United States Patent and Trademark Office, <http://www.uspto.gov/patents/resources/classification/index.jsp>

Para nuestra investigación tomaremos datos de ambos campos. La base de datos trabajada es de 2228 patentes obtenidas entre el año 1976 al 2011 (35 años) de la (USPTO, 2012)¹³, se consideran las subclases de la base de datos de la USPTO bajo las siguientes características:

Se toma la clase 429, “Aparatos, Procesos y Productos de Producción de Corriente Eléctrica”¹⁴

Dentro de esta clase se toman 7 subclases no secuenciales definidas para combinaciones del electrodo de la siguiente forma:

Ejemplo:

- Para el electrodo con Litio, seleccionamos la subclase de “celdas de producción de corriente, elementos y subcombinaciones, y complementos” bajo la numeración 122.
- Dentro de esta subclase seleccionamos la subclase de “electrodo” con la numeración 209.
- Dentro de esta subclase la subclase de “Químicamente se especifica material inorgánico electroquímicamente activo que contiene:” con la numeración 218.1 para luego considerar “material activo un metal alcalino” bajo la numeración 231.9 además la clasificación 391.95 con litio como material alcalino.
- Entonces quedaría: 429/231.95

Este ejercicio se repite para el resto de los materiales activos dentro del electrodo como: Hierro, Nickel, Manganeso, Cobalto, Aluminio y Titanio, que son los elementos que se han

¹³ Esto en el sentido de que a partir del año 1976 se tiene información extraíble de las patentes y nos permite transferir a una base de datos, para años anteriores las patentes están en formato de documento escaneado lo que dificulta su obtención, además que son escasas por lo tanto la información de estas es irrelevante.

¹⁴ Chemistry: Class 429. Electrical Current Producing Apparatus, Product and Process. Definition. This class is the generic class for devices which produce an electrical current by means of a chemical reaction or change in physical state (e.g., from liquid to gas, etc.). Also included are the following subject matter not provided for elsewhere. Tomado de: <http://www.uspto.gov/web/patents/classification/uspc429/defs429.htm>

combinado hasta ahora para la creación de diseños de baterías con Litio-ion para el electrodo, por lo tanto tendríamos 7 subclases para el electrodo.

El resumen se subclases para el electrodo viene dado de la siguiente forma:

Litio	429/231.95
Nickel	429/223
Manganeso	429/224
Hierro	429/221
Cobalto	429/231.3
Titanio	429/231.5

Por otro lado para el electrolito con Litio:

- Se toma la clase 429, “Aparatos, Procesos y Productos de Producción de Corriente Eléctrica”
- Seleccionamos la subclase de “celdas de producción de corriente, elementos y subcombinaciones, y complementos” bajo la numeración 122.
- Dentro de esta subclase seleccionamos la subclase de “la estructura del electrolito químico específico y su método” con la numeración 188.
- Dentro de esta subclase veremos la subclase de “electrolito solido” con la numeración 304, dentro de esta categoría consideraremos “componentes que contienen metal alcalino” bajo la numeración 321, a esta subclase le incluiremos el Litio lo que nos da como resultado la subclase 322.
- Entonces quedaría: 429/322

Para considerar la clasificación de electrolito de litio con las posibles combinaciones, debemos considerar los 2 elementos adicionales que hasta ahora se han conocido para poder hacer un electrolito con Litio, estos elementos son: Aluminio y el grupo de los Halógenos (de la tabla periódica: flúor, cloro, bromo, yodo y ástato).

El resumen se subclases para el electrolito viene dado de la siguiente forma:

Litio	429/322
Aluminio	429/319 - 320
Halogenos	429/323

Las subclases de litio con electrodo y electrolito son diferentes, por lo tanto se consideran 2 subclases diferentes, para efectos de variables, solo tomaremos la variable litio como una sola, ya en la base de datos con patentes se considera una clase o la otra según el diseño que estemos analizando, sea este para electrodo o electrolito. Esta investigación considera baterías de Litio-ion (en electrodo y electrolito) con sus diferentes diseños y 9 subclases adicionales.

2.2. Indicadores que muestran causas de diversidad

En este segundo apartado se describen algunos indicadores de diversidad extraídos de la hipótesis planteada, es necesario remarcar la forma en que los indicadores están relacionados con la hipótesis por lo tanto en esta sección inicial se hilará la primera parte de la hipótesis de la investigación con cuatro 4 indicadores principales propuestos.

Según la primera parte de la hipótesis planteada:

- Las causas que producen la diversidad en las baterías de litio son el resultado de esfuerzos de exploración y explotación resultantes de redes de empresas que surgen como parte de la competencia por obtener mejores resultados en el uso de esta tecnología aplicada a vehículos eléctricos HEV, EV y PHEV y del éxito en innovaciones radicales en el uso del litio como tecnología para baterías.

a) Iniciando con un índice de entropía para ver la diversidad y la explotación de los “diseños”¹⁵ en baterías de litio-ion en este campo tecnológico específico, b) seguido por el grado de especialización por las empresas con algunos “diseños” para la explotación de conocimiento, c) el índice de atracción el cual nos permitirá detectar los elementos centrales dentro de este grupo específico de diseños basados en Litio-ion que permitan la aplicación en coches eléctricos HEV, EV y PHEV, d) finalmente el índice de aptitud que muestra aquellos diseños con mayor trayectoria en innovaciones radicales lo que nos permitirá ver tendencias en el uso de estas tecnológicas para baterías de litio.

¹⁵ Llamamos “diseño” a la fusión de 2 o más elementos cuya aleación sirva como electrodo o electrolito dentro de la estructura de la batería de litio -ion, ej. Li+Ni+Co.

A continuación se describe el uso de los indicadores y cómo estará estructurada la información para el análisis de resultados.

2.2.1. Indicador de Entropía (Diversidad)

El indicador de entropía propuesto por Theil (1965) dice que dada una conducta de crecimiento/decrecimiento nos permite ver el comportamiento de la diversidad en una tecnología. En esta investigación nos ayudara específicamente dentro del campo tecnológico de las baterías de litio midiendo la diversidad a través de información obtenida de las patentes entre el año 1976 y 2011 usando la base de datos de la USPTO de los Estados Unidos. Observando los periodos de exploración y explotación, que se reflejan en mayor o menor actividad inventiva, se define que para periodos de baja actividad nominaremos “explotación” (baja diversidad) y periodos de alta actividad calificaremos “exploración” (alta diversidad).

Con el objetivo de construir un vocabulario común y conocimiento básico usemos definiciones de (Theil, 1965), (Jenner, 1966) (Frenken K. , 2000), quienes miden la diversidad con ayuda de la teoría de la información (entropía e información mutua) y así poder obtener la diversidad y especialización en un sector tecnológico como el de las diferentes baterías de litio. (Philip, 2004) argumenta que la entropía es la medida de las distribuciones menos probables a las más probables. Una distribución aleatoria representa una entropía alta, por el contrario una distribución sesgada representa una entropía baja. Bajo este esquema se puede ver que cuando un solo estado es posible la diversidad de diseños es mínima, cuando la distribución es aleatoria, muchos estados son posibles y la diversidad se incrementa. Al respecto (Frenken K. , 2000) introduce el concepto de diseño dominante (*vgt*) y arquitectura tecnológica de Henderson y Clark (1986) para el análisis del modelo NK. En específico Frenken calcula un indicador de entropía para determinar si existe un diseño dominante en alguna industria, dicho indicador es un indicador también de diversidad tecnológica. Un nivel de entropía cero, indicaría que sólo un estado es posible y en sentido tecnológico hablaría de la existencia de un diseño dominante.

Un indicador complementario que retoma (Frenken K. , 2000) es el de información mutua, un nivel alto de información mutua muestra que algunas características de los componentes están coocurriendo, y un nivel de información mutua de cero diría que no existe coocurrencia, la coocurrencia significa que dos diseños tecnológicos podrían estar dándose en paralelo.

(Frenken K. , 2006) se basó en el planteamiento de Theil y la teoría de la información para medir la entropía. Considera que la información está medida por la probabilidad de los eventos posibles.

$$h(p_i) = \log_2 \left[\frac{1}{p_i} \right]$$

h : es la cantidad de información proporcionada por la ocurrencia de un evento. Y está en función de la probabilidad de ocurrencia de un evento y es expresada en bits (logaritmo de base 2)

p_i : es la probabilidad de que un evento ocurra.

Si un evento i con una baja probabilidad de ocurrencia sucede la información aumenta, por lo que la cantidad de información es una función inversa de la probabilidad de ocurrencia de un evento.

Entre menos probable sea el evento mayor información es proporcionada. Por lo anterior la entropía podría ser considerada como la suma de los valores de información $h(p_i)$ de cada eventos multiplicada por sus respectivas probabilidades :

$$H = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \left[\frac{1}{p_i} \right]$$

Como se puede observar cuando $p_i = 1$, la entropía es mínima o igual cero. Cuando todos los eventos son igual de probables la entropía es máxima.

Siguiendo la misma lógica y como lo que se tomará en consideración son la combinación de diferentes clases tecnológicas, la entropía en un espacio de dos dimensiones puede ser considerada como:

$$H(X, Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \log_2 \left[\frac{1}{p_{ij}} \right]$$

La Información Mutua es una medida de dependencia entre dos dimensiones, mide si dos eventos tienden a co-ocurrir en particulares combinaciones. Por ejemplo, un diseño en específico esté siendo representativo. La información mutua es determinada por :

$$T(X, Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \log_2 \left[\frac{p_{ij}}{p_i p_j} \right]$$

También puede ser determinado por

$$T(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y)$$

La información mutua mide la dependencia entre dos (o más variables o dimensiones) según su nivel de entropía. También es un indicador de especialización, la ausencia de especialización implicaría que p_{ij} es igual a $p_i p_j$ para todo p_{ij} , lo cual resulta en $T(X, Y) = 0$.

El incremento en la diversidad tecnológica representado por una distribución más homogénea en los diseños lleva al incremento en el indicador de entropía. En el caso de la información mutua muestra que tanto se sabe de un diseño teniendo información de otro. Si se considera el valor de la información mutua de la distribución D significaría que el conocimiento de un alelo [0 o 1], a lo largo de una variable o dimensión [X o Y] de un diseño permitiría perfectamente predecir los alelos a lo largo de la otra variable o dimensión. Lo que indicaría también un nivel de especialización o de co-ocurrencia entre alelos.

Para esta investigación se consideró la utilización del Litio-ion como material activo central, en base a esto los demás materiales activos posibles dependerán de los desarrollos existentes en la USPTO, considerando campos tecnológicos del electrodo y electrolito, dando como resultado 2228 patentes y 8 materiales activos complementarios.

Si consideramos 9 elementos activos, y que a su vez el Litio-ion es el componente obligatorio, las combinaciones y espacio de posibilidades esta dado según el límite en Litio-ion con el resto de los componentes, y no consigo mismo, por lo tanto quedarían 8 subclases identificadas ($9-1=8$) y el espacio de posibilidades considerando la combinación de 3 elementos sería $3^8 = 6561$ o la de 2 elementos $2^8 = 256$ combinaciones, en ambos casos los datos son irreales, lo que se hizo es una búsqueda de diseños desarrollados hasta ahora en baterías de Litio-ion con alta posibilidad de aplicarse a automóviles eléctricos de cualquier tipo, así consideramos solo 8 diseños específicos como se ve en el siguiente cuadro:

Tabla 2.1. Patentes representadas en subclases según la combinación de elementos

Combinacion/Subclase	Co	Mn	Ni	Ti	FePO	Al	Hg
LiCoO ₂	1	0	0	0	0	0	0
LiMn ₂ O ₄	0	1	0	0	0	0	
LiFePO ₄	0	0	0	0	1	0	0
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	0	0	0	1	0	0	0
LiNiMnCoO ₂	1	1	1	0	0	0	0
LiNiCoAlO ₂	1	0	1	0	0	1	0
LiAlCl ₄	0	0	0	0	0	1	0
Li+Halogenos	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: elaboración propia.

En el ejemplo de la tabla 2.1. Los ceros representan cuando la patente no se encuentra en una subclase y los unos cuando si se encuentra. Por ejemplo, una patente que pertenece a la combinación de Oxido de Cobalto y Litio se representa en dos subclases, la asignada a la subclase 429/231.95 (Li) y a la 429/231.3 (Co) con lo que se le asignan 1's.

Considerando lo anterior, las 8 combinaciones de subclases existentes para las patentes relacionadas con nuestro componente obligatorio, el litio y considerando solo baterías de litio-ion secundarias con posible aplicación a los coches eléctricos. Los posibles elementos combinables como: Cobalto, Manganeso, Titanio, Nickel, Fosfato Ferroso, Halógeno y Aluminio vienen dados de tipos de batería desarrolladas y representan el espacio de posibilidades para la diversidad de baterías de Litio-ion.

Tanto el cálculo de las posibles combinaciones y el número de patentes por combinación por año en este espacio de posibilidades nos permite observar cuan diversas son las baterías de litio y sus combinaciones (tanto en el electrodo como en el electrolito) y qué diseños o combinaciones de materiales activos están más emparentados.

Tabla 2.2. Número de patentes en cada subclase en el año 2005

Subclase	Co	Mn	Ni	Ti	FePO	Al	Hal	Li
Dentro de la clase	100	156	69	146	186	78	121	430
Fuera de la clase	330	274	361	284	244	352	309	0
Total	430	430	430	430	430	430	430	430

Fuente: elaboración propia con datos de patentes

La tabla 2.2. presenta el número de patentes en cada subclase, el ejemplo hipotético de 430 patentes en el año 2005, 100 se encuentran en la clase Co y 330 no lo están, así sucesivamente con las demás clases, sin embargo es importante recalcar que una misma patente puede estar en 2 clases o más al mismo tiempo, por lo tanto la suma de las patentes de las subclases no necesariamente dará las 430.

Para el cálculo de patentes por combinación completa, como ser LiCoO_2 (11000000) ver tabla 2.1.) se deben cruzar las patentes de ambas clases (Litio y Cobalto), es decir, aquellas patentes que contengan las 2 subclases. Dado esto y para obtener el indicador de entropía y de información de esta combinación 11000000 para un año determinado (2005), se arma la tabla 2.3. con los 8 pasos siguientes.

1. De la tabla 2.1 se toma el diseño, que representa la primera fila de la tabla 2.3.
2. Para ir llenando la segunda fila de la tabla 2.3. de la tabla 2.2 se toma el total de patentes de cada alelo que corresponda a nuestro diseño. Considere la subclase Co, dado que existen 100 patentes con ese alelo (1), entonces se toma el valor de 100 y se coloca en la segunda fila . Para la clase Mn, se toma el valor de la clase Mn ausente (0), y así sucesivamente con las demás subclases. Hasta obtener el total de cada subclase según el alelo (0 y 1).
3. A continuación se calcula los pi, de las fórmulas de entropía. Dividiendo el número de patentes de cada característica (0 ó 1) por el total de patentes. Por ejemplo, en la subclase Co hay 100 patentes la cual se divide entre 430. (fila 3)
4. Para calcular pij. El número de patentes de 2005 con el diseño o la combinación 11000000, es decir patentes que solo contengan litio y cobalto son 60. El pij es $60/430 = 0.19069$ (fila 4)
5. Ya que se tiene los pi (fila 2), se puede obtener los pipj lo cual se obtiene multiplicando $pi \times pj \times pk \dots pz = 0.0001$ (fila 5).
6. Se obtiene pij/ pipj que es igual a 1878 (fila 6).
7. Aplicando la fórmula se calcula la Entropía y la Información Mutua correspondiente al conjunto de este diseño.
8. Se arma una tabla con los valores de entropía e información mutua de cada diseño.
9. Una vez que se obtiene “los valores de cada diseño” se suman cada uno de ellos y se obtiene el indicador final.

Tabla 2.3. Indicador de entropía y de información del diseño 0000100 para el año 2005

Subclase	Cobalto	Manganeso	Nickel	Titanio	Fosfato ferroso	Aluminio	Halogeno
Diseño	A	B	C	H	G	D	E
LiFeP04	0	0	0	0	1	0	0
Patentes	100	156	69	146	186	78	121
Pi	0.23255814	0.362790698	0.16047	0.33953	0.43255814	0.1813953	0.281395
P(0000100)				0.1907			
Pi—Pp				0.0001			
Pij/PiPj				1878.91			

Fuente: elaboración propia con datos de patentes

Notas

- Por ahora sólo se ha obtenido datos solamente de un diseño, por lo que se tiene que obtener los de los demás diseños.
- Se ha obtenido sólo el indicador de un año por lo que se tiene que hacer los pasos del 1 al 8 por cada año (de 1976 a 2011)

Cuando se calcula la diversidad y especialización para una serie de años se puede ver sus incrementos y decrementos, por lo que indicaría incremento o decremento en diversidad y especialización de diseños.

2.2.2. Países y Empresas con Especialización en tipos de baterías de litio

Las patentes contienen una referencia de subclases sobre las cuales se hace la invención. Con esta información contenida en las patentes podemos determinar el área de desarrollo sobre la cual se está creando este nuevo conocimiento, cuales son los elementos o combinaciones con mayor éxito en la creación de nuevas invenciones o cuáles son las tendencias de desarrollo de las invenciones.

Sin embargo no todos los países manejan la misma estrategia de desarrollo tecnológico, es más, cada país podría dirigirse a diferentes nichos de mercado y esto hace que la actividad inventiva en ciertas áreas de desarrollo sea diferente, esto significa que cada país en términos de explotación y exploración actúa de diferente forma.

Por esta razón es que para este indicador procederemos a un análisis de las patentes por país, vale decir que, de nuestra base de datos de 2228 patentes se filtra los países de origen para luego proceder a un análisis de los diseños. Con esto se determina cuál es el grado de especialización o la tendencia al desarrollo tecnológico por país.

En segunda instancia se repite el análisis con referencia a empresas, se desarrolla el mismo análisis pero a nivel empresa, para ver cuáles empresas, universidades o centro de investigación tiene dentro de su línea de desarrollo tecnológico algún tipo de batería de Litio-ion. Cabe aclarar que para el estudio incluiremos todas las empresas, centros de investigación, universidades y centros de los gobiernos ya que las empresas automotrices

no siempre llevan el liderazgo en este tipo de investigación, delegando muchas veces esta tarea centros de investigación más especializados o empresas dedicadas específicamente al desarrollo de estas tecnologías, ó se hacen investigaciones costeadas por varias empresas automotrices para poder sustentar los gastos de investigación.

Se consideró que las empresas de un mismo país forman una red de empresas que reciclan el conocimiento dentro de su red, permitiéndole explotar o explorar lo adyacente posible dentro de una rama tecnológica, esto se expresa cuando las patentes de un país investigan sobre la misma subclase tecnológica y desarrollan en la misma línea tecnológica algo así como una especialización, por eso más adelante llamaremos especialización al referirnos a la concentración de patentes en un mismo país.

Por ahora con este indicador sabremos cuales son las áreas tecnológicas, categorías y combinaciones dentro de las baterías de Litio-ion que más se explotaron ó exploraron y por quienes. De la base de datos que tenemos, haremos una separación por países, y posteriormente buscaremos los diseños analizados con anterioridad para ver el número de patentes por país por diseño y así ver el comportamiento de la actividad inventiva, un bajo número de patentes significa estado de explotación de diseños, tal vez diseños dominantes, estándares cerrados (monopólios), o simplemente que ese país no trabaja con ese nicho de mercado, un alto número de patentes significa exploración y mucha actividad inventiva.

Tabla 2.4. Países y sus patentes dentro de las combinaciones.

País	Patentes por país	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄	Lin _i	LiTi _O	LiFePO ₄	LiAlCl ₄	Li+H _g	LiNiMnCo _O	LiNiCoAl _O	Subtotal por país, en las combinaciones
Canadá	62		12	2	1	5	3		4		27
Francia	62	2	4	10	7	9		1	13	1	47
Alemania	58	0	6	6	6	5	1	3	6		33
Taiwán	25		1	4	4	7	3		1		20
China	20		1	2	2	3	1		3		12
Gran B.	6					1	1				2
Subtotal	233	2	24	24	20	30	9	4	27	1	141

Fuente: elaboración propia con datos de patentes

Lo que se hizo es filtrar los países con más patentes y buscar las combinaciones de subclases relacionadas con los diseños dentro de la base de datos de patentes, de esta forma nos es posible llegar a un resultado. En esta tabla podemos ver la concentración de la actividad inventiva por país, según la cantidad de patentes, a su vez como dijimos separaremos por tipo o diseño de batería de Litio-ion para poder determinar cuál es el diseño más trabajado y en qué país.

2.2.3. Índice de Atracción

El objetivo del índice de atracción (IA) es identificar aquellos elementos dentro de las combinaciones que funcionan como atractores para generar nuevas invenciones y por lo tanto más diversidad. En nuestra investigación veremos cuáles son los componentes con mayor probabilidad de recombinación, es decir trabajaremos sobre las combinaciones ya especificadas en la tabla 2.1. y las subclases de elementos, dentro de este grupo, tendremos aquellos con mayor probabilidad a ocurrir nuevamente, es decir mayor posibilidad de que se desarrollen diseños de baterías de litio ion bajo con ciertos elementos.

La formula genérica del índice de atracción es:

$$IA = (\sum_i^n (A \cap Xi) / Xi) / z$$

Donde n: es el total de combinaciones de nuestra investigación, 9.

z: es número de subclases posibles a ser combinadas $n-1 = 7$

X_i : es el número de patentes en el elemento i (en nuestro caso litio)

A: es el número de patentes de la subclase A (clase a combinar con litio)

El índice se encontraría entre 0 y 1. Entre más cercano a 1 se puede hablar de que la combinación es un atractor (Dado que $A \cap B \leq A$ y $A \cap B \leq B$, entonces $A \cap X_i / X_i \leq 1$). Este indicador se obtuvo para cada combinación con cada elemento o subclase en el periodo 1976-2011.

Ejemplo: Considerar la matriz, que representa en su interior el número de patentes por combinación entre subclases:

Tabla 2.5. Matriz de interdependencias (año 2005)

Combinacion/Subclase	Co	Mn	Ni	Ti	FePO	Al	Hg
LiCoO ₂	19	-	-	-	-	-	-
LiMn ₂ O ₄		89	-	-	-	-	-
LiFePO ₄	-	-	-	-	65	-	-
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	-	-	-	8	-	-	-
LiNiMnCoO ₂	78	78	78	-	-	-	-
LiNiCoAlO ₂	89		89	-	-	89	-
LiAlCl ₄	-	-	-	-	-	6	-
Li+Halogenos	-	-	-	-	-	-	9

Fuente: elaboración propia con datos de patentes

Para el cálculo del IA, primero se obtiene el número de patentes que tienen intersección entre las combinaciones y la se divide entre las patentes encontradas con Litio en un año determinado (ya sea para el electrodo como el electrolito), en este caso el número de patentes por subclase son las patentes encontradas en la base de la USPTO, según las siguiente clasificación:

Tabla 2.6. Matriz de clasificación de combinaciones

Electrodo	Clasificación USPTO
Litio	429/ 231.95
Nickel	429/223
Manganeso	429/224
Hierro	429/221
Cobalto	429/231.3
Titanio	429/231.5
Electrolito	Clasificación USPTO
Aluminio	429/319-320
Litio	429/ 322
Halogenos	429/323

Fuente: elaboración propia con los datos de la (USPTO, 2012)

Ejemplo: Supongamos $A \cap X_i / X_i$ y el nivel de atracción de dos elementos:

Tabla 2.7. Matriz con sólo dos intersecciones

Combinacion/Subclase	Co	Mn
LiCoO ₂	49	-
LiMn ₂ O ₄	-	89

Fuente: elaboración propia

Las patentes que incluyen Li + Co tienen la intersección de las subclases 231.3 \cap 231.95 y se divide entre el número total de patentes de 231.95 del año 2005 (430) y luego dividir entre n, el número de combinaciones posibles, 8.

Entonces el índice de atracción del elemento Cobalto es:

$$(231.3 \cap 231.95) / 231.95 = (49/430) / 8 = .0628$$

El índice determina el nivel de importancia de una combinación de litio con una subclase o con respecto a una combinación dada la propensión a ser recombinado. El nombre de “atractor” surge porque un nivel alto del índice con respecto a las demás combinaciones es la propensión a ser recombinado dada su naturaleza química, y que además es una subclase central en el sector tecnológico de las baterías de litio-ion. Por otro lado, una combinación con un índice bajo con respecto a las demás nos diría que la subclase es una combinación periférica en el sector de baterías de litio-ion.

El índice se encontraría entre 0 y 1, sin embargo es probable dado el número de patentes y subclases que llegue muy por debajo de 1, por lo anterior se insiste que el nivel de alto o bajo será con respecto a los elementos. El índice se calculó para el periodo de 1976 a 2011 lo que permite ver la evolución de la importancia de este material en este periodo.

Una forma de interpretar el índice es a través de un grafico tomando el resultado del índice de cada elemento, como se observó se obtuvo la interrelación de la combinaciones con cada una de las subclases o elementos, la suma de estas interrelaciones da como resultado el índice (dividido entre n). El valor de cada una de estas interrelaciones se colocó en la siguiente matriz, en dicha matriz, los vectores representan cada una de estas subclases, en la última fila se coloca el índice correspondiente de cada subclase. Por

ejemplo, cada una de las interrelaciones de la subclase Co (231.3) con las con las combinaciones es colocada en la matriz.

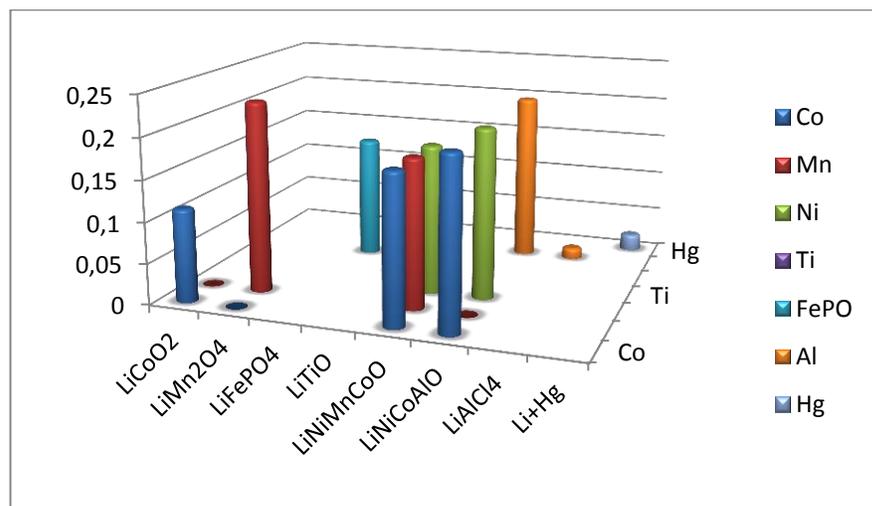
Tabla 2.8. Resumen Índice de Atracción para el año 2005 por subclases.

Combinación/Subclase	Co	Mn	Ni	Ti	FePO	Al	Hg
LiCoO ₂	0.11						
LiMn ₂ O ₄		0.23					
LiFePO ₄					0.15		
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂				0.02			
LiNiMnCoO ₂	0.18	0.18	0.18				
LiNiCoAlO ₂	0.21	0.00	0.21			0.21	
LiAlCl ₄						0.01	
Li+Halogenos							0.02
subtotal	0.5023	0.4140	0.3884	0.0186	0.1512	0.2209	0.0209
Indice de Aptitud	0.0628	0.0517	0.0485	0.0023	0.0189	0.0276	0.0026

Fuente: elaboración propia con datos de patentes

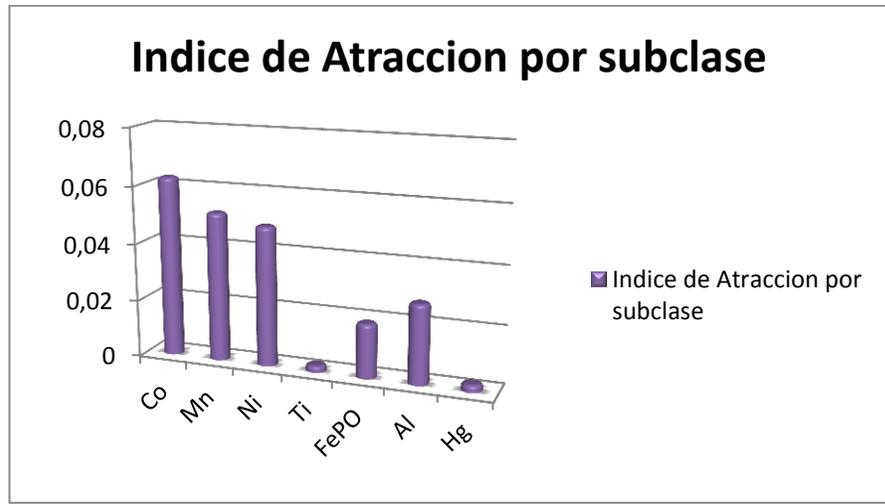
La gráfica siguiente representa el resultado de las interdependencias entre elementos analizados y el componente principal litio, en el eje "x" representaremos los elementos candidatos a la combinación y en el eje "y" se muestran los valores del índice de aptitud alcanzado por cada uno de los elementos con el total de las combinaciones.

Grafica 2.1. Índice de Atracción por subclase distribuida por combinación o tipo de batería de Litio



Fuente: elaboración propia con los datos de patentes de la (USPTO, 2012)

Grafica 2.2. Índice de Atracción por subclase, combinada con Litio



Fuente: elaboración propia con los datos de patentes de la (USPTO, 2012)

La grafica 2.2 indica que en el año 2005, el elemento atractor mas fuerte entre el grupo de elementos es el cobalto, muy probablemente porque es componente en 3 tipos de baterías y el menos propenso a recombinarse para la creación de nuevas innovaciones en baterías es el titanio o los halógenos.

En este caso haremos el ejercicio para cada año, sin embargo es posible resumir los valores del índice en el periodo de 35 años ya mencionado antes, con esto obtener la relevancia en el uso de un material en este periodo, y su potencial para generador de nuevas innovaciones.

2.2.4. Índice de Aptitud

Este indicador medido como nivel de aptitud fue propuesto por (Fleming & Sorenson, 2001), mide el nivel de importancia de una combinación tecnológica y su impacto en un campo tecnológico. En este sentido, una combinación de Litio-ion con otro material representa un diseño de batería o una combinación tecnológica contenida en las patentes. Por otro lado, la importancia a nivel tecnológico de una patente esta expresada por el número de citas recibidas. De esta forma las citas hechas a una patente, representa el índice de

aptitud. Esto porque el diseño con mayor número de citas indica que es apto para nuevos desarrollos y que su información básica sirve para la formación de otros diseños.

Los diseños con mayor índice de aptitud pueden representar innovaciones radicales debido a que son invenciones que reciben un gran número de citas y por ende tienen mayor impacto en la producción de conocimiento. Las combinaciones con menor índice de aptitud se consideran innovaciones incrementales debido a su poco impacto en el sector.

$$IA_{pi} = \sum Z_i / P_i * Y_i$$

Donde: Z = número de citas hechas a la combinación i .

P_i = Son las patentes de la combinación i .

i puede representar la intersección de dos o más subclases ($A \cap B$)

$Y_i = P_i / T$ donde T : es la suma de patentes de todas las subclases (quitando el número de aquellas que se encuentran en más de una subclase).

Considerar el ejemplo de la tabla de número 2.9. El número de patentes del año 2006 para cada tipo de batería o combinación de elementos es la descrita en la tabla, el total de las patentes es de 367 para ese año.

Para el cálculo del índice de aptitud para cada diseño en un determinado año:

1. En la fila 1 se consideran las patentes por combinación para el periodo 2006, por ejemplo para la combinación $Li_4Ti_5O_{12}$ se consideran las patentes de las subclases $231.3 \cap 231.5 = 19$.
2. En la fila 2 se consideran las citas realizadas a la combinación 231.3 y 231.5 del periodo 2003-2006¹⁶, se obtienen un total de 41 citas Para la fila 3 se calcula $Y_i = P_i / T$ utilizando los valores de la fila 1 y para el cálculo de T , es solo las patentes del periodo 2006 de todas las combinaciones, 367.

¹⁶Dado que las patentes solo pueden recibir citas ex post y dado que están se reciben por periodo más allá del año entonces es mejor tomar un periodo amplio al igual que para las patentes. Ej.5 años.

3. Finalmente para el cálculo del índice de aptitud por combinación se aplica la formula, utilizando los valores de la tabla para obtener los resultados de la fila 4.

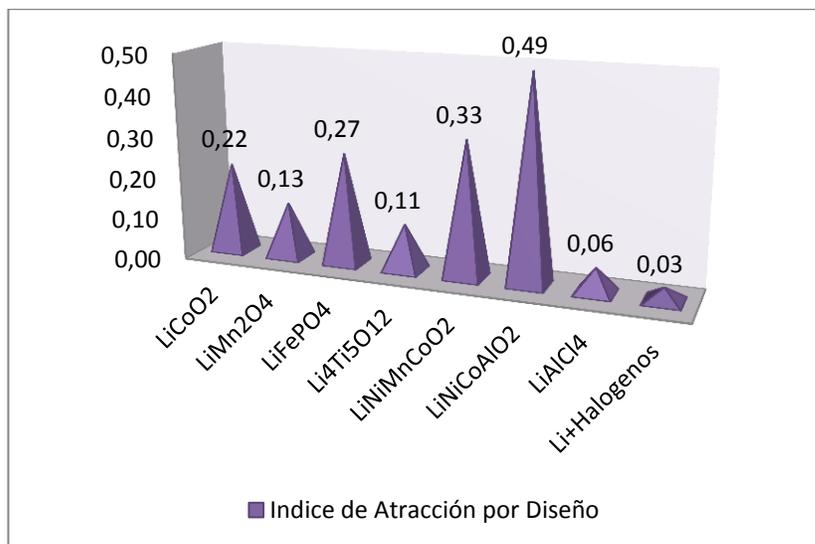
Tabla 2.9. Cálculo de índice de aptitud para las combinaciones en el periodo 2006

Combinación	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄	LiFePO ₄	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	LiNiMnCoO ₂	LiNiCoAlO ₂	LiAlCl ₄	Li+Halogenos
Patentes (Pi)	39	56	70	19	89	79	6	9
Citas (Zi)	80	49	99	41	120	180	22	12
Yi= Pi/T	0.11	0.15	0.19	0.05	0.24	0.22	0.02	0.02
I _{Api}	0.22	0.13	0.27	0.11	0.33	0.49	0.06	0.03

Fuente: elaboración propia con datos hipotéticos de patentes

La tabla puede ser graficada, dicha gráfica muestra en el plano xy las combinaciones y la altura el nivel de aptitud, en este caso la altura máxima es de la LiNiCoAlO₂

Gráfico 2.3. Nivel de aptitud según el tipo de batería para el periodo 2002-2006



Fuente: elaboración propia con datos hipotéticos de patentes

2.3. Indicadores que muestran límites de diversidad

En este apartado se exponen los indicadores que son considerados en este trabajo para la búsqueda de resultados y patrones de comportamiento en el desarrollo de tecnologías de Litio-ion. Funcionalidad, interdependencia y demanda, no serán explicados con patentes, si no con otras fuentes de información por la accesibilidad con lo que se cuenta el

momento de desarrollar esta investigación, otros indicadores como variedad de requerimientos para un diseño y coevolución no se consideran ya que la información necesaria y especializada requerida tomaría demasiado tiempo¹⁷. Las categorías de baterías que consideradas son:

- ✓ *Lithium Cobalt Oxide-LiCoO₂,*
- ✓ *Lithium Manganese Oxide - LiMn₂O₄,*
- ✓ *Lithium Iron Phosphate - LiFePO₄,*
- ✓ *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide - LiNiMnCoO₂,*
- ✓ *Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide - LiNiCoAlO₂,*
- ✓ *Lithium Titanate - Li₄Ti₅O₁₂).*

En esta sección se hilará la segunda parte de la hipótesis con 3 indicadores principales: a) Iniciando con la funcionalidad de la tecnología que nos permitirá determinar si los diseños estudiados llegan a la capacidad energética diseñada originalmente con la capacidad real en el mercado. b) Luego analizaremos la flexibilidad e interdependencia con otras tecnologías relacionadas para esto es necesario ver las diferentes aplicaciones de litio que permitan vislumbrar la dependencia con otros campos tecnológicos. c) La demanda de las baterías de litio, para determinar la importancia de algunos tipos de baterías de litio en el mercado actual de los vehículos eléctricos.

2.3.1. Funcionalidad de las baterías de litio.

En esta sección intentaremos realizar un barrido de los tipos de baterías de litio existentes, incluyendo los prototipos que no se han llevado al mercado, para analizar cuáles fueron las principales limitaciones técnicas que llevaron fracaso tecnológico o éxito tecnológico. Muchos aspectos tienen que ver con el diseño mismo de la tecnología, sin

¹⁷ Por ser una Idónea Comunicación de Resultados para el grado de Maestría, el tiempo de desarrollo de la misma no es muy largo lo que limita en capacidad de poder desarrollar algunos indicadores.

embargo hay una serie de aspectos técnicos que son los que se utilizan usualmente para comparar los diseños y ver su funcionalidad.

Algunos de estos puntos serán por ejemplo:

- Voltaje de trabajo
- Pérdida de Carga
- Relación Peso
- Densidad energética
- Efecto Memoria
- Relación Tamaño
- Ciclo de Estabilidad
- Eficiencia energética
- Impacto Ambiental

Cada uno de estos parámetros nos dará la posibilidad de poder evaluar los diseños dentro de la categoría de baterías de Litio-ion, niveles de estabilidad óptimos para la aplicación de vehículos eléctricos¹⁸.

2.3.2. Interdependencia de la tecnología

La interdependencia tecnológica desempeña un papel clave en la generación y uso de la tecnología. Su conceptualización y medición se encuentran todavía en una etapa temprana, debido a lo ineludible de su naturaleza (Archibugui D. , 1988). De hecho, la literatura sobre la economía de la innovación se ha puesto de relieve una serie de cuestiones que se relacionan con la naturaleza de la tecnología conectada a la interdependencia.

Para nuestra investigación tomaremos en cuenta el primer criterio propuesto por (Archibugui & Simonetti, 1998), “la naturaleza tecnológica de la innovación”. Esto implica una descripción técnica de la innovación. En las innovaciones homogéneas sobre la base de características técnicas y de ingeniería se agrupan en categorías tecnológicas.

En el caso de nuestra investigación este indicador nos explicara en qué grado dependen de la tecnología (baterías de Litio) de otros sectores, otras tecnologías o aplicaciones. En este apartado veremos y analizaremos dentro del mercado de las baterías de litio

¹⁸ Los vehículos eléctricos requieren en comparación con otras aplicaciones mayor cantidad de energía necesaria, por ejemplo: 1 unidad de litio en una batería de teléfono celular, 3.000 unidades en un coche híbrido y 7.000 unidades en un coche eléctrico.

recargables cuáles podrían ser las causas que limitan la diversidad a causa de una interdependencia ejercida por algún sector demandante o alguna aplicación demandante. Ciertas aplicaciones logran marcar trayectorias tecnológicas por su capacidad de generar demanda suficiente para direccionar las líneas de investigación y desarrollo.

Es necesario poder considerar algunos datos cuantitativos más tangibles para la posterior conclusión final, en este sentido tomaremos los datos de aquellos campos que también hacen uso del litio-ion que podrían redireccionar el recurso de manera significativa si es que se diera el caso. Además dentro del sector de las baterías recargables de litio, vale decir aquellas aplicaciones más demandantes dentro de esta categoría que marquen una línea de investigación. Es necesario separar el sector de los coches eléctricos según la clasificación HEV, EV y PHEV por la importancia que cada uno de ellos representa en el sector. Consideraremos los mismos periodos de desarrollo de patentes, para poder comparar los periodos de forma equitativa, esto quiere decir desde 1976 al 2011.

2.3.3. Demanda de las baterías de Litio

La estrecha relación que existe entre los diseños desarrollados y los nichos de mercado existentes dentro de una tecnología específica generan fuertes relaciones entre la demanda y desarrollo tecnológico a futuro. Para esto utilizaremos fuentes de información especializadas en el campo tecnológico como AVICENNE-Development, Swiss Federal Institute of Technology Zúrich, Advanced Research and Sustainable Development Michelin y Western Lithium USA Corporation para analizar cuales sus expectativas de demandas futuras y así ver del impacto que estamos esperando como para causar un límite o no a la diversidad.

2.4. Conclusiones del Capitulo

La estructura de este capítulo nos presume que tanto la metodología utilizada como los indicadores seleccionados son apropiados para el análisis evolutivo de la tecnología, con lo que la metodología propuesta se resume en:

Grafico 2.4. Metodología de la Investigación



Básicamente la utilización de fuentes de información confiable como lo es la USPTO y universidades reconocidas como son la Universidad de Oxford, de Princeton o entidades como el fondo de cultura económica, AVICENNE consultoras especializadas en mercados de tecnología de alto crecimiento quienes darán veracidad de los datos.

La utilización de indicadores para la investigación, que se basan en formulas bien estructuradas para el cálculo de indicadores como entropía, índice de atracción, índice de aptitud y otros que nos ayudaran a determinar la producción y limitación de la diversidad tecnológica.

Toda la metodología en si funcionara como una sistema orientado a entregar resultados de los indicadores en el tiempo, lo cual será materia elemental para analizar y concluir si éstos cumplen o no con la hipótesis planteada, sin descartar un cumplimiento parcial.

Un resumen de los indicadores que causan y limitan la diversidad viene en la tabla 2.10.:

Tabla 2.10. Indicadores para la investigación. Causas a la diversidad

Concepto	Indicador	Descripción	Función	Beneficios	Limitantes	
Causas de la diversidad	Actividad Inventiva	Numero de patentes de	Conteo del numero de patentes de una combinación tecnológica	Indica las subclases tecnológicas en las que se concentra el esfuerzo inventivo de las empresas del sector	Marca tendencias de innovaciones tecnológicas del sector	Solo muestran una parte de lo que representa la innovación tecnológica
	Explotación de tipos de baterías en el sector	Diversidad del sector (Entropía)	Mide el incremento de la diversidad de baterías de litio-ion.	Muestra como se exploran nuevos diseños de baterías cuando se incrementa la diversidad	Detecta señales de los posibles cambios y tendencias tecnológicas en el sector.	Información irrelevante de diseños de baterías no exitosos y no comerciales.
	Exploración de tipo de baterías	Áreas y Empresas de Especialización	Áreas donde se explora el nuevo conocimiento y localización de trayectorias tecnológicas.	Describir como las empresas exploran nuevos diseños al realizar una búsqueda en el conocimiento y sobre qué áreas y especialidades	Describe cuales son las fuentes de conocimiento para empresas de diferentes países y también observar las tendencias tecnológicas y especialización	Solo se consideran redes por país, no incluye conocimiento colaboración tecnológica internaciones.
	Elementos centrales o atractores del sector.	Índice de atracción.	Mide la importancia que tiene una combinación dentro de los diseños de las baterías de litio – ion.	Determinar los elementos centrales o atractores del sector tecnológico de baterías de litio ion, aquellos que han sido determinantes para cambiar la trayectoria de este sector.	Permite localizar las posibles tendencias tecnológicas de diseños o combinaciones.	No considera materiales activos secundarios.
	Aptitud		Mide las patentes y citas hechas a patentes de una combinación tecnológica.	Mostrar el impacto de nuevas baterías en su sector tecnológico. El conjunto de cada nivel de aptitud por tipo de batería forma el paisaje de aptitud.	Se puede detectar en que combinaciones de materiales activos (baterías) se esta explorando nuevos diseños y su impacto en el sector. En este sentido ayuda a encontrar que tipos de baterías se exploran y cuales se explotan.	Debido a que es indicador basado en patentes, no se considera innovaciones solo invenciones.
	Innovaciones Radicales.	Índice de aptitud.		Muestra las baterías con más citas recibidas siendo las de mayor impacto en el sector. Y se puede considerar como un óptimo, donde más se exploran nuevas baterías.		
	Innovaciones incrementales.			Muestra las baterías con menos citas recibidas siendo las de menor impacto en el sector. Y puede considerarse como los diseños que se explotan.		

Fuente: Elaboración propia con los datos de esta investigación.

Tabla 2.11 Indicadores para la investigación. Límites a la diversidad

	Concepto	Indicador	Descripción	Función	Beneficios	Limitantes
Límites a las Diversidad	Capacidad teórica y real	Funcionalidad	Mide ciertas características técnicas de cada combinación o diseño para ver su importancia en el sector de coches eléctricos	Determinar si las baterías que se encuentran actualmente en el mercado tienen potencial de poder mejorar su capacidad de almacenar energía	Se puede tener un panorama de las posibilidades de mejorar eficiencia de las baterías	Solo es un rubro de la funcionalidad de las baterías. Esto depende de la inversión de empresas, investigación científica, tecnológica y de posibles aplicaciones
	Diferentes aplicaciones de las baterías de litio	Interdependencia	Se describen las diferentes aplicaciones para diferentes tipos de baterías de litio	Considerar las aplicaciones de las diferentes baterías y el desarrollo de otras industrias para que estas baterías tengan demanda y puedan ocupar diferentes nichos del mercado	Permite vislumbrar el potencial de aplicación de diferentes baterías y su dependencia con otros sectores tecnológicos	No se tiene una descripción detallada de cuales son los vínculos exactos entre cada sector, baterías y aplicación
	Demanda de baterías de litio a nivel mundial	Demanda	Mide la cantidad de demanda mundial de baterías por tipo y algunas aplicaciones	Determinar la importancia de algunos tipos de baterías en el mercado actual.	Ayuda a observar la explotación de baterías y ver sus principales aplicaciones	Los datos obtenidos son estimados.

Fuente: Elaboración propia con los datos de esta investigación.

Capítulo III. Diversidad, Exploración y Explotación en el sector tecnológico de baterías de litio-ion.

De la referencia obtenida en las patentes se puede formar una base de datos con información sustancial, si estos son utilizados de forma precisa. Con esta afirmación entonces nos planteamos las siguientes interrogantes: ¿La información contenida en las patentes es suficiente para conseguir indicadores de tecnología competentes y útiles para detectar patrones de diversidad? Pero además ¿será que la insistencia de algunas empresas y centros de investigación en la proyección del uso de ciertas tecnologías, basadas en información de mercado logran visualizar y redireccionar la actividad inventiva de forma certera? Y será que ambas tanto las patentes como las proyecciones¹⁹ de crecimiento en baterías litio-ion, están sintonizadas mutuamente?

Para responder las interrogantes es que dividiremos este capítulo en 2 partes, la primera relacionada con aquellos indicadores elaborados a partir de la información de patentes y que específicamente muestran resultados de formación de diversidad. Hacia la segunda parte del capítulo utilizaremos información de mercado combinada con patentes para analizar las limitaciones de la diversidad y finalmente concluir con la coherencia mutua.

3.1. Producción de diversidad.

Para poder observar el efecto de la diversidad en un segmento tecnológico, se utilizaron tres indicadores (entropía, especialización e índice de atracción²⁰); con la información de las patentes como materia base de información y la aplicación de fórmulas y métodos de cálculo específicos de cada indicador se observan los siguientes resultados del comportamiento de este sector de baterías de Litio-ion (9 tipos de baterías específicas cuya aplicación está dirigida principalmente a vehículos eléctricos, segmento objetivo de nuestra investigación).

¹⁹ Estas proyecciones pueden ser no solo de vehículos eléctricos.

²⁰ En el capítulo anterior se considero el índice de aptitud, pero la imposibilidad en el manejo de la base de datos (6 mil referencias) y el tiempo de desarrollo de esta tesis no dio para la ejecución de este indicador.

Como lo habíamos mencionado antes, los estados de explotación y exploración alrededor de ciertos diseños dan como resultado un incremento en la diversidad. Para poder observar este fenómeno dentro de un sector fue necesario utilizar el índice de entropía, el índice de especialización y el índice de atracción, los tres expuestos en el capítulo anterior. Esto tiene como objetivo determinar algún patrón de cambio en la diversidad y si existe alguna forma de equilibrio puntuado.

3.1.1. Entropía-Diversidad en las baterías de Litio-ion

Este apartado está relacionado con el indicador de la entropía e información mutua. Ambos basados en la probabilidad de ocurrencia de un evento. Un incremento en el indicador de entropía significa mayor diversidad y un decremento la existencia de posibles diseños dominantes o la especialización por parte de las empresas. Al igual que la entropía la información mutua trabaja con distribuciones de probabilidad²¹, cuando este valor se incrementa señala que algunos tipos de batería o diseños están creciendo en paralelo y una reducción contribuye a decir que un diseño podría ser el dominante.

Por las características válidas para su aplicación en coches eléctricos se han considerado las siguientes combinaciones o tipos de baterías de litio-ion.

- Litio Oxido de Cobalto LiCoO_2
- Litio Oxido de Manganeso LiMn_2O_4
- Litio Fosfato de Hierro LiFePO_4
- Litio Níquel Manganeso Oxido de Cobalto LiNiMnCoO_2
- Litio Níquel Cobalto y Oxido de Aluminio LiNiCoAlO_2
- Litio Titanato $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
- Litio Níquel Li-NiO_2
- Tetracloroaluminato de litio LiAlCl_4^*
- Litio-halógenos *

*Los últimos dos considerando al Litio como material activo del electrolito.

²¹ Distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable aleatoria la probabilidad de que dicho suceso ocurra. La distribución de probabilidad está definida sobre el conjunto de todos los sucesos, cada uno de los sucesos es el rango de valores de la variable aleatoria.

En cuanto al número de patentes extraídas se refiere, la serie de 35 años con 2228 patentes analizadas, 9 diseños o combinaciones de baterías de Litio-ion, muestran las siguientes características importantes:

- Durante los primeros 10 años la cantidad de patentes registradas es relativamente baja en comparación con los últimos años de la serie.
- Se denota un crecimiento exponencial a partir del año 1992 esto porque la demanda por mejores baterías (seguridad, durabilidad y potencia) mueven el sector de desarrollo tecnológico. Ya para el año 2000 cuando salen a la venta los primeros automóviles eléctricos fue cuando la búsqueda por baterías que cumplan con las necesidades del mercado en este sector se vuelve aún más crítica. Ver el grafico 3.1.
- También podemos observar que en los primeros años, muchas de las combinaciones o diseños de baterías no tienen actividad inventiva tal vez porque aun no se habían descubierto ciertas combinaciones y propiedades de los elementos. Un factor importante también puede ser que el Litio-ion no era usualmente utilizado para la realización de baterías. Ver la tabla 3.1.

Grafico 3.1 Patentes por año dentro de las categorías seleccionadas. (1976-2011)



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 al año 2011.

Ya entrando en materia de indicadores, y realizados los cálculos con las 2228 patentes, con base en la aplicación de la metodología detallada en el anterior capítulo, observamos

en la tabla 3.1. que para el indicador de entropía de cada diseño obtenemos los siguientes resultados:

- En el año 1976 varios de los diseños aún no existían, ya para fines del 2011, todos los diseños presentan actividad inventiva, lo que podría indicar que la diversidad se ha incrementado en todo el periodo de análisis.
- De los nueve diseños presentados solo el 30% presenta una reducción en valores (LiNiCoAlO, LiAlCl₄, Li+Hg) lo que implica que el 70% de los diseño tiene crecimiento en su diversidad (LiCoO₂, LiMn₂O₄, LiFePO₄, LiTiO, LiNiMnCoO y LiniCoO₂).
- Con respecto a la evolución de la tecnología en general éste indicador muestra que el grupo de diseños en general tiene características de desarrollo y crecimiento.

En el gráfico 3.1. observamos una serie de características de los diseños que se consideran importantes por su aporte a la diversidad de la tecnología Litio-ion como:

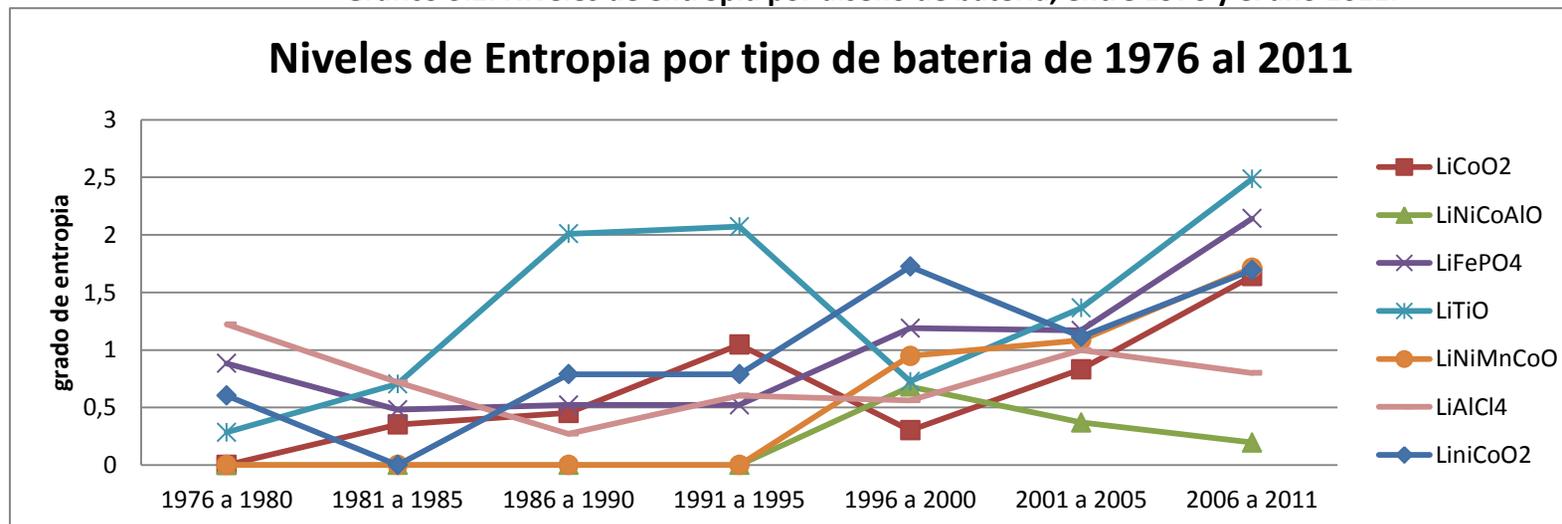
- El diseño LiCoO₂ muestra datos de exploración y explotación, esto implica que es un diseño con actividad innovativa.
- El diseño LiMn₂O₄, es un diseño nuevo con un crecimiento sustancial en los últimos años que aporta en forma integral a la evolución de las baterías de litio-ion.
- LiFePO₄, presente desde el principio del periodo, al parecer muestra signos de explotación en los primeros años, y después, renace con un periodo de exploración.
- LiTiO, LiNiMnCoO, similares en cuanto a señales de exploración y explotación, hacia el final del periodo se muestra el crecimiento en diversidad de ambos.

Tabla 3.1. Niveles de entropía por diseño de batería, entre 1976 y el año 2011

Entropía por tipo	1976 a 1980	1981 a 1985	1986 a 1990	1991 a 1995	1996 a 2000	2001 a 2005	2006 a 2011
LiCoO ₂	0	0.352	0.453	1.046	0.302	0.832	1.641
LiMn ₂ O ₄	0.525	1.001	1.053	1.113	2.398	1.960	2.363
LiFePO ₄	0.883	0.481	0.522	0.522	1.189	1.170	2.141
LiTiO	0.285	0.705	2.009	2.072	0.727	1.365	2.485
LiNiMnCoO	0	0	0	0	0.949	1.085	1.713
LiNiCoAlO	0	0	0	0	0.681	0.370	0.196
LiAlCl ₄	1.222	0.719	0.272	0.604	0.562	1.000	0.800
Li+Hg	1.785	1.561	0.673	0.272	0.335	0.532	0.478
LiniCoO ₂	0.604	0	0.789	0.789	1.725	1.114	1.693

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 y el año 2011

Gráfico 3.2. Niveles de entropía por diseño de batería, entre 1976 y el año 2011.



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 y el año 2011.

En forma general se puede decir que los diseños con mayor aporte en innovación y desarrollo tecnológico son: LiTiO, LiNiMnCoO, LiFePO₄, LiNiCoO₂ y LiNiCoO₂.

En la tabla 3.2. se aprecia la intensidad de la actividad inventiva por tipo de batería, de color rosa son las áreas de baja intensidad y de color celeste las de mayor intensidad, de esta forma obtenemos que en los primeros 15 años la actividad no era tan intensa, ya sea por la falta de uso del Litio en las baterías o simplemente por la falta de inversión en investigación, sin embargo en los últimos años esta figura cambia, tal vez con el descubrimiento de mayores características del Litio, tanto la diversidad como la intensidad en el uso del Litio aumenta. Ver la tabla 3.2.

Una característica que se puede observar dentro de esta misma tabla, son aquellos tipos de baterías con comportamiento cíclico, éste cambio entre periodos de explotación y exploración como el caso de LiCoO₂, LiFePO₄ y LiNiCoO₂ puede darse por los ciclos de producto referidos algún modelo de batería, o simplemente la creación de una nueva necesidad en el mercado, en ambos casos este comportamiento se expresa de dicha forma. Ver la tabla 3.2.

Finalmente se observa una suerte de equilibrio puntuado ya que de la baja o nula actividad, el crecimiento casi exponencial en el año 1993 indica un cambio radical en el desarrollo de las baterías de litio-ion, lo interesante sería poder ampliar este estudio unos 10 años para ver el comportamiento final.

Tabla 3.2. Intensidad del desarrollo tecnológico con base en la secuencia anual de los niveles de entropía por diseño entre 1976-2011

Entropía por clase	año																																					
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
LiCoO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.3	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	
LiMn2O4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	0.5	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	
LiFePO4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	
LiTiO	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	
LiNiMnCoO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2
LiNiCoAlO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	
LiAlCl4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	
Li+Hg	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	
LiNiCoO2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 al año 2011.

3.1.2. Generadores de Diversidad

La explotación y la exploración por parte de las empresas no suele ser en solitario; las redes entre empresas, centros de investigación y universidades²² suelen facilitar la búsqueda de nuevos diseños, al respecto (Holland, 2004) dice que para incrementar la diversidad en un red es necesario que produzca el efecto multiplicador y el reciclaje.

Cuando existe un grupo de empresas que cooperan intercambiando información, permiten copiar más fácilmente diseños o partes de él con otras empresas, sin embargo para que una empresa pueda compartir información será necesario que logre cierto grado de especialización de manera tal que pueda ser capaz de transmitir información muy precisa y probada de diseños.

A continuación vemos las empresas con mayor número de patentes en nuestras categorías de baterías de litio-ion, estas empresas hacen esfuerzos inventivos sobre ciertos diseños logrando de esta forma especializarse en cierta línea tecnológica, esto les permite tener la información precisa para negociar con los demandantes de esta tecnología. En muchos casos y también lo habíamos mencionado antes, los centros de investigación o entidades del gobierno son quienes desarrollan ciertas tecnologías, ya sea por encargo de un grupo de empresas o por estrategia gubernamental para lograr ventajas competitivas en la especialización de tecnologías.

En la tabla 3.3. se muestran los resultados obtenidos de las empresas, lo más relevante es:

- Las primeras 25 empresas abarcan el 52% de la base de patentes obtenidas. De estas, el 51% ha desarrollado los diseños de esta investigación.
- Si el 96% de las empresas son privadas y solo el 4% son centros de investigación o universidades, esto podría insinuarnos que hay empresas privadas que desarrollan estas tecnologías bajo encargo de un grupo de otras empresas que no

²² El concepto de la **Triple hélice** que es una descripción (y su funcionamiento) del crecimiento económico o de otro ítem, que propusieron **Etzkowitz** y **Leydesdorff** (1966) como un sistema de tres componentes, que son inestables pues tienen intercambios dinámicos y se van desarrollando en espiral. Un ejemplo sería: Universidad, Empresa y Gobierno, creando conjuntamente riqueza con un proyecto común.

Tabla 3. 3. Empresas que más patentan: campo tecnológico de baterías de litio-ion.

25 Empresas patentadoras en baterías de litio-ion	#patentes
Samsung SDI Co., Ltd (KR) ²³	356
Sanyo Electric Co., Inc. (Moriguchi, JP)	94
LG Chem, Ltd (Seoul, KR)	58
Matsushita Electric Industrial Co. Ltd. (Osaka, JP)	56
NGK Insulators, LTD (Nagoya, JP)	42
Medtronic, Inc, (Minneapolis, MN)	35
Canon Kabushiki Kaisha (Tokyo, JP)	34
Ube Industries, Ltd. (JP)	33
Panasonic Corporation (Osaka, JP)	31
The United States of America as represented by the Secretary of the Army (Washington, DC)	32
Mitsubishi Chemical Corporation (JP) ²⁴	28
Valence Technology, Inc. (Henderson, NV)	27
Samsung Display Device Co., Ltd. (KR)	23
3M Innovative Properties Company (St. Paul, MN)	22
Sumitomo Chemical Co., Ltd. (Osaka, JP)	22
Bell Communications Research, Inc. (Morristown, NJ)	21
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha (Tokyo, JP)	20
Japan Storage Battery Co., Ltd. (Kyoto, JP)	19
Kabushiki Kaisha Toshiba (Kawasaki, JP)	18
UChicago Argonne LLC (Chicago, IL)	18
Wilson Greatbatch Ltd. (Clarence, NY)	18
BYD Company Limited (Shenzhen, CN)	17
Sony Corporation (Tokyo, JP)	17
FMC Corporation (Philadelphia, PA)	16
Total de patentes por estas empresas en el rubro	1057
Total de patentes por estas empresas en estos diseños	574

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 - 2011.

necesariamente están en el rubro de las baterías pero si es un campo estratégico para su producto final, ejemplo: las automotrices que tiene en su cartera de productos los automóviles eléctricos y cuyo producto elemental son las baterías.

²³ En el caso de Samsung SDI Co., Ltd y Samsung Display Device Co., Ltd. Parece que fueran la misma empresa, en todo caso podrían referirse a áreas de desarrollo diferentes, sin embargo puede afectar en el resultado ya que la misma empresa no puede competir con ella misma y los indicadores finales podrían ser diferentes.

²⁴ Mitsubishi Chemical Corporation y Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha no se ha corroborado si son empresas distintas.

- Un dato interesante resulta el hecho de que las empresas que producen baterías son del sector electrónico (68%) y no del sector automotriz.

Si se considera que mayor desarrollo de patentes representa mayor especialización se podría decir que una empresa que invierte sus esfuerzos en el desarrollo de cierta tecnología, termina por especializarse en ello. Este efecto puede verse en la tabla 3.4. donde, para este grupo de empresas se ve la relación de esfuerzo inventivo según el tipo de baterías, esto es útil al momento de ver si existe algún tipo de tendencia en el sector o incluso especialización de alguna empresa. Ver tabla 3.4.

En el caso de los tres primeros lugares, vemos que cada una de las empresas ha optado por diferentes desarrollos tecnológicos, es el caso de Samsung que dispone su mayor esfuerzo a baterías de LiFePO y LiNiMnCO a diferencia de Sanyo que dedica sus esfuerzos a LiMnO y a LiNiMnCO, finalmente LG Chemical Group que apuesta más a LiNiMnCO.

Coincidentemente las tres creen en la tendencia en el uso del magnesio como complemento ideal en las baterías de litio-ion y aquí vemos el efecto multiplicador mencionado por (Holland, 2004).

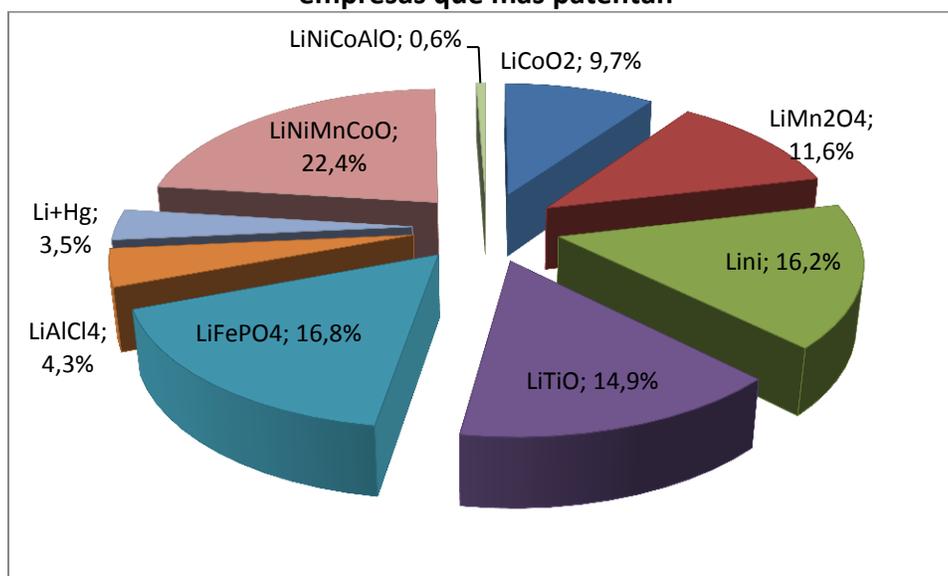
Tabla 3.4. Participación por empresa en los 9 diseños de baterías de Litio-ion

	Empresas patentadoras en baterías de Litio-ion	#Pat	LiCoO2	LiMn2O4	Lini	LiTiO	LiFePO4	LiAlCl4	Li+Hg	LiNiMnCoO	LiNiCoAlO	% en los 9 diseños	Otras baterías
1	Samsung SDI Co., Ltd (KR)	356	4%	3%	4%	3%	8%	0%	1%	8%	0%	31%	69%
2	Sanyo Electric Co., Inc. (Moriguchi, JP)	94	6%	13%	9%	7%	11%	2%	3%	12%	0%	63%	37%
3	LG Chem, Ltd (Seoul, KR)	58	0%	3%	9%	12%	10%	5%	2%	26%	0%	67%	33%
4	Matsushita Electric Industrial Co. Ltd. (Osaka, JP)	56	5%	2%	13%	9%	5%	5%	4%	11%	0%	54%	46%
5	NGK Insulators, LTD (Nagoya, JP)	42	0%	19%	5%	2%	5%	2%	0%	5%	2%	40%	60%
6	Medtronic, Inc, (Minneapolis, MN)	35	21%	3%	3%	8%	42%	0%	3%	21%	0%	100%	0%
7	Canon Kabushiki Kaisha (Tokyo, JP)	34	9%	3%	23%	29%	11%	0%	0%	26%	0%	100%	0%
8	Ube Industries, Ltd. (JP)	33	12%	3%	3%	0%	3%	0%	3%	3%	0%	27%	73%
9	Panasonic Corporation (Osaka, JP)	31	0%	0%	10%	10%	10%	6%	3%	13%	0%	52%	48%
10	The United States of America as represented by the Sec	32	0%	13%	3%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	19%	81%
11	Mitsubishi Chemical Corporation (JP)	28	4%	4%	14%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	29%	71%
12	Valence Technology, Inc. (Henderson, NV)	27	15%	0%	11%	30%	19%	0%	15%	11%	0%	100%	0%
13	Samsung Display Device Co., Ltd. (KR)	23	0%	9%	4%	4%	0%	0%	0%	9%	0%	26%	74%
14	3M Innovative Properties Company (St. Paul, MN)	22	0%	14%	14%	32%	0%	0%	0%	36%	0%	95%	5%
15	Sumitomo Chemical Co., Ltd. (Osaka, JP)	22	0%	5%	23%	0%	5%	5%	0%	0%	0%	36%	64%
16	Bell Communications Research, Inc. (Morristown, NJ)	21	0%	14%	5%	5%	0%	0%	0%	5%	0%	29%	71%
17	Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha (Tokyo, JP)	20	10%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	85%
18	Japan Storage Battery Co., Ltd. (Kyoto, JP)	19	0%	0%	58%	0%	0%	0%	0%	37%	0%	95%	5%
19	Kabushiki Kaisha Toshiba (Kawasaki, JP)	18	0%	0%	0%	22%	0%	28%	0%	17%	0%	67%	33%
20	UChicago Argonne LLC (Chicago, IL)	18	0%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	89%
21	Wilson Greatbatch Ltd. (Clarence, NY)	18	6%	0%	0%	22%	28%	11%	0%	6%	0%	72%	28%
22	BYD Company Limited (Shenzhen, CN)	17	6%	0%	0%	12%	6%	6%	0%	18%	6%	53%	47%
23	Sony Corporation (Tokyo, JP)	17	0%	24%	6%	18%	18%	0%	6%	18%	0%	88%	12%
24	FMC Corporation (Philadelphia, PA)	16	19%	44%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	69%	31%
	Porcentaje por diseño de la base de 9 diseños	1057	9.7%	11.6%	16.2%	14.9%	16.8%	4.3%	3.5%	22.4%	0.6%		

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 al año 2011

El grafico 3.3. resume la tabla 3.4., la tendencia en el uso de elementos y combinaciones en la serie de años. Datos obtenidos solo de las 25 empresas que más patentan.

Grafico 3.3. Diseños de Baterías de Litio –ion con mayor número de patentes: grupo de las 25 empresas que más patentan



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 - 2011.

En este gráfico se observa que el desarrollo del tipo LiNiMnCoO no solo por las tres primeras empresas si no del grupo en general es consistente, además veamos última fila de la tabla 3.4., sugiere el diseño predilecto por las empresas desarrolladoras de conocimiento. Pero además existen otras tendencias que le siguen de cerca como lo son: LiFePo, LiNi y LiMnO o LiTiO.

Se analiza a continuación tabla 3.5. los datos por país, si es que estos datos corroboran lo supuesto por la multiplicación, dentro de una red (grupo de empresas dentro de un país) tienden no solo a multiplicar si no reciclar información, y si estos datos coinciden con los datos de las empresas.

Tabla 3.5. No de Patentes por diseño: Ranking de 6 países entre 1976 -2011

Pais	Patentes	LiCoO2	LiMn2O4	LiNi	LiTiO	LiFePO4	LiAlCl4	Li+Hg	LiNiMnCoO	LiNiCoAlO	Otros
Japon	755	42	65	85	63	63	22	10	85	1	319
Usa	714	32	83	40	62	62	36	16	55	1	327
Korea	443	18	21	26	42		6	6	47		277
Canada	62		12	2	1	5	3		4		35
Francia	62	2	4	10	7	9		1	13	1	15
alemania	58		6	6	6	5	1	3	6		25
Patentes del grupo	2094					1096					998
Porcentaje respecto a la base de datos global	94%					49%					45%

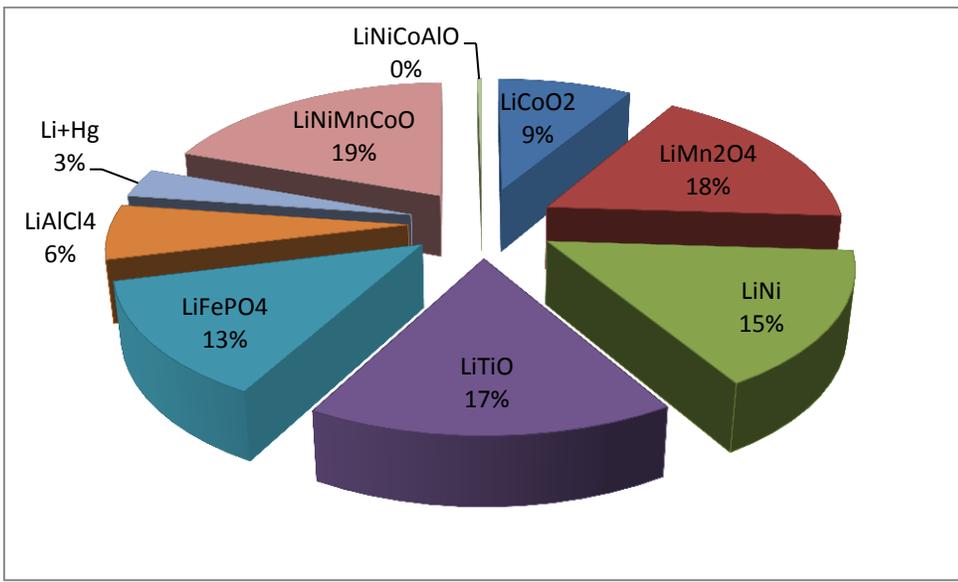
Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976-2011.

En la tabla 3.5. se observa lo siguiente:

- Los primeros 6 países concentran el 94% de las patentes totales pertenecientes a las 9 combinaciones analizadas, esto implica que la generación de conocimiento se concentra en 6 países y que dentro de este grupo de países se puede dar el efecto reciclaje y el efecto multiplicador.
- Estos seis países consolidan sus esfuerzos inventivos en orden de importancia: LiNiMnCoO, LiTiO, LiMnO, LiFePo y LiNi. Por lo que es importante considerar que las primeras 4 categorías coinciden con las 4 primeras categorías que resultaron de nuestro análisis por empresas, veamos en el siguiente grafico:

Grafico 3.4. Tipos de Baterías de Lito-ion con mayor innovación:

Ranking de los primeros 5 países



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo comprendido entre 1976 - 2011.

La tendencia sugiere que dentro de estos países existen empresas con la mismas tendencias y un alta probabilidad de reciclaje de información, esto porque las empresas más innovadoras están dentro de los mismos países formando redes.

Todo este contexto contribuye y fomenta en gran medida a la diversidad en ciertos diseños tecnológicos que a su vez tienen como resultado las trayectorias tecnológicas como se puede ver en el caso de LiNiMnCoO, LiTiO, LiMnO, LiFePo y LiNi

3.1.3. Atracción de los materiales

A continuación se analizan los componentes con mayor probabilidad de recombinación, componentes centrales y fundamentales para la creación de nuevos diseños. Esta intensidad de uso puede influenciar en la diversificación de una tecnológica, direccionando la producción de conocimiento.

Como se había explicado en el capítulo metodológico, basamos esta investigación en elementos simples que de los diseños de baterías de Litio-ion (9) para ver cuáles de esos elementos se consideran centrales o con mayor probabilidad de ocurrencia.

El indicador base para hallar los siguientes resultados es el índice de atracción, el cual se muestra en la siguiente tabla resumido en periodos de 5 años para mejor ilustración.

Tabla 3.6. Índice de atracción por elementos simples: baterías de Litio-ion en periodos de 5 años desde 1976 -2011

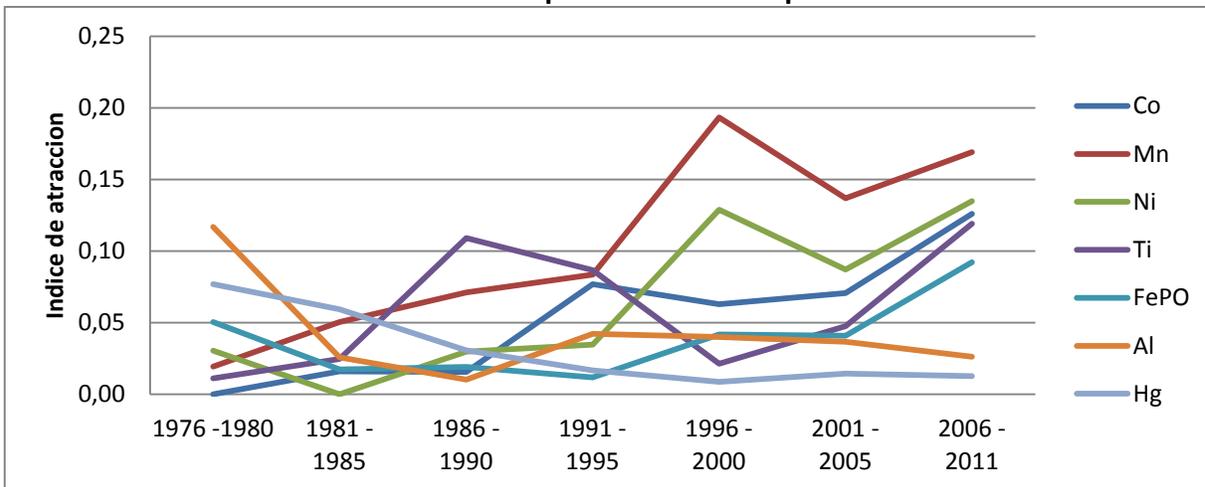
Serie de años	Co	Mn	Ni	Ti	FePO	Al	Hg
1976 -1980	0.00	0.02	0.03	0.01	0.05	0.12	0.08
1981 – 1985	0.02	0.05	0.00	0.02	0.02	0.03	0.06
1986 – 1990	0.02	0.07	0.03	0.11	0.02	0.01	0.03
1991 – 1995	0.08	0.08	0.03	0.09	0.01	0.04	0.02
1996 – 2000	0.06	0.19	0.13	0.02	0.04	0.04	0.01
2001 – 2005	0.07	0.14	0.09	0.05	0.04	0.04	0.01
2006 – 2011	0.13	0.17	0.13	0.12	0.09	0.03	0.01

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 al año 2011.

En la tabla se observa que en el transcurso de los años, componentes como el Manganeso, Níquel, Fosfato Ferroso y Cobalto han ido ganando mayor capacidad de atracción, vale decir que por el uso constante han logrado subir su capacidad de volver a ocurrir, el componente con mayor índice de atracción es el Manganeso que a su vez está presente en 2 de las combinaciones más representativas de la base de datos, tanto por empresas,

como por países, y también por sus niveles de entropía elevados, así lo vimos en apartados anteriores.

Grafico 3.5. Índice de atracción por elementos en periodos de 5 años 1976 - 2011



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 al año 2011.

En el grafico 3.13. se muestra claramente como a finales del último periodo los componentes como el Manganeso, Níquel y Cobalto son los más propensos a seguir en la carrera de las innovaciones, sin embargo el Aluminio y los Halógenos tienden a desaparecer como elementos centrales.

Hasta el año 1995 todos los elementos manejaban datos similares, pero es a partir de ese año que empiezan los desarrollos tecnológicos y empiezan a generar las tendencias y trayectorias tecnológicas más intensas.

3.2. Por qué se puede limitar la diversidad de baterías de Litio?

3.2.1 Funcionalidad de la tecnología

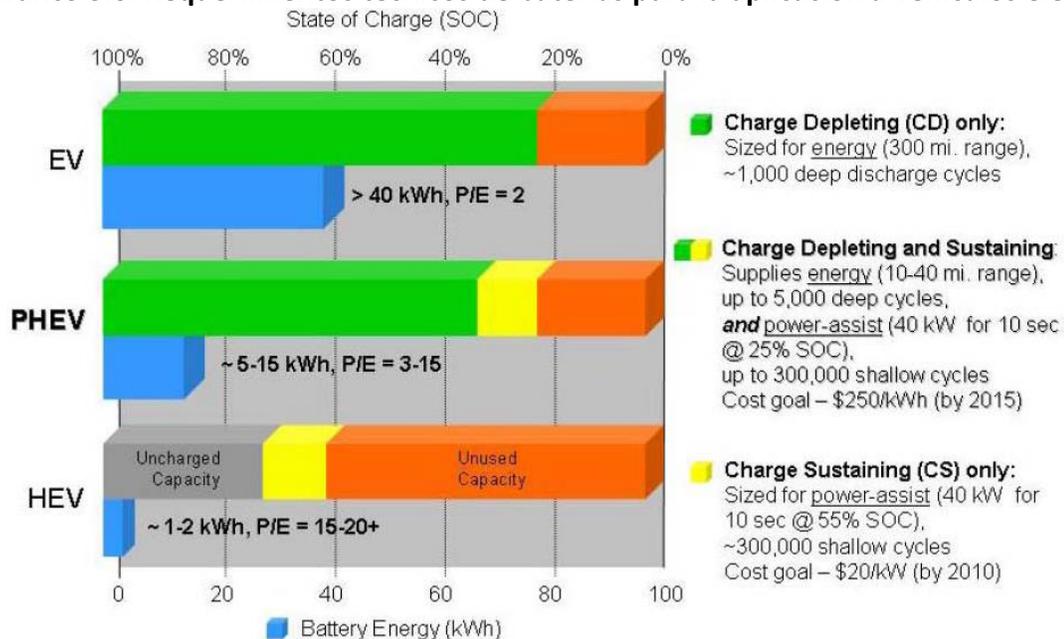
Uno de los motivos claros con respecto a la limitación en la generación de nuevo conocimiento está relacionado con la funcionalidad de la tecnológica. Las baterías como se dijo anteriormente, contienen varios componentes que se consideran indispensables, como electrodos, electrolitos, separadores y recipiente cada uno creado con ciertas

características específicas. Por otro lado, la capacidad de entregar energía eléctrica depende de la reacción existente entre ánodo y cátodo y esto variara en cada diseño.

Pero ¿cuáles son las características que se buscan en cuanto al funcionamiento de las baterías para satisfacer las necesidades de los automóviles eléctricos?

Los requisitos funcionales de las baterías para coches eléctricos dependen del tipo de vehículo eléctrico; se consideran 3 tipos de vehículos eléctricos comercialmente disponibles en este momento: los coches híbridos o HEV, luego están los plug in híbridos o PHEV y finalmente los eléctricos o EV, cada uno de ellos como se ha descrito anteriormente requiere diferentes niveles de capacidad, duración, ciclos profundos y energía. Los dos factores más importantes que determinan el rendimiento de la batería son: la energía, que puede ser pensado como el rango impulsor, y el poder, que puede ser pensado como la aceleración. El cociente de ambos (P / E)²⁵ muestra la cantidad de energía por unidad que se requiere para la aplicación. Veamos el grafico 3.6 que muestra el requerimiento de P/E por tipo de automóvil eléctrico:

Grafico 3.6. Requerimientos técnicos de baterías para la aplicación a vehículos eléctricos



Fuente: (DOE, 2007)

²⁵ P/E significa Potencial promedio sobre energía específica.

HEV: La mayoría de HEV utiliza baterías para almacenar la energía captada durante el frenado y utilizar esta energía para impulsar un vehículo. La batería de un HEV requiere para almacenar sólo una pequeña cantidad de energía, puesto que se recarga con frecuencia durante la conducción. Las baterías para HEV tienen un "ciclo superficial", lo que significa que no se debe cargar totalmente y que están diseñados para un ciclo de 300.000 de rango. Por lo tanto alto P / E que va de 15 a 20. La capacidad de la batería es relativamente pequeña, sólo 1-2 kilovatios-hora (kWh) (DOE, 2007).

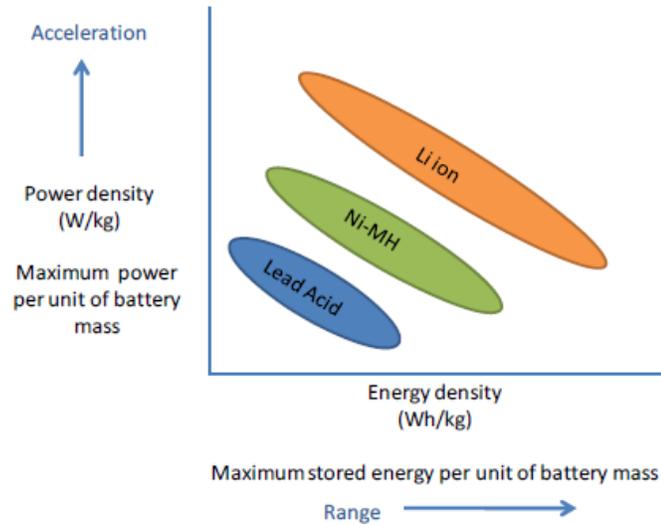
PHEVs: Los PHEVs son los vehículos híbridos con baterías de gran capacidad que pueden obtenerse de la red eléctrica. Con una capacidad mayor entre 5 a 15 kWh (DOE, 2007), los PHEV usan sólo un motor eléctrico y la batería almacena energía para recorrer distancias cortas, lo que significa que los PHEVs no consumen combustible líquido fósiles para viajes cortos si las baterías están completamente cargadas (Hori, 1998). Después de que la energía por batería se agota, la batería funciona como una batería de HEV para ayudar a la potencia. Por lo tanto, una batería PHEV necesita tanto la energía como el rendimiento de energía, con un P / E de 3-15.

EVs: vehículos eléctricos que sólo utilizan un motor eléctrico alimentado por baterías. Estas baterías para vehículos eléctricos necesitan más capacidad de energía a causa de rangos de manejo más largos, la relación P / E es la más baja. La batería requiere cargas y descargas (ciclos profundos) y requiere 1000 ciclos durabilidad. El tamaño de la batería de los vehículos eléctricos es mayor que la de los PHEV o HEV. Por ejemplo, el Nissan *Leaf* tiene una capacidad de 24 kWh (Nissan EE.UU., 2010) ó baterías de Ion-litio para vehículos eléctricos compactos usarían 1.800 a 2.000 células (METI, 2009).

Las baterías de Litio-ion son la tecnología más adecuada para vehículos eléctricos por que pueden lograr niveles altos de energía de salida y poder por unidad, permitiendo ser más livianas y pequeñas que otras baterías recargables, veamos la figura 3.7. Estas características también explican porque las baterías de litio-ion son ampliamente usadas en otras aplicaciones como teléfonos celulares, laptops y cámaras digitales. Otras ventajas

del litio-ion comparado por ejemplo con las de níquel metal hidruro o acido incluyen alta eficiencia energética, no efecto memoria, y un relativo tiempo de vida largo.

Grafico 3.7. Poder de aceleración y energía (rango) por tipo de batería



Fuente: (CGGC, 2013)

Dentro de las categorías de baterías de litio-ion analizadas ¿cuáles podrían cumplir con cual tipo de vehículo? En la tabla 3.7 hay una descripción de los tipos de baterías con las que se ha trabajado desde el análisis de patentes.

Tabla 3.7. Tipos de Baterías Litio – ion con capacidad específica y energía específica.

Material del Electrodo	Diferencia Potencial Promedio	Capacidad Especifica	Energia Especifica
LiCoO ₂	3.7 V	140 mA·h/g	0.518 kW·h/kg
LiMn ₂ O ₄	4.0 V	100 mA·h/g	0.400 kW·h/kg
LiNiO ₂	3.5 V	180 mA·h/g	0.630 kW·h/kg
LiFePO ₄	3.3 V	150 mA·h/g	0.495 kW·h/kg
Li(Li ₀ Ni _x Mn _y Co _z)O ₂	4.2 V	220 mA·h/g	0.920 kW·h/kg
LiNiCoAlO	3.7 V	180 mA·h/g	0.630 kW·h/kg
Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)	1-2 V	160 mA·h/g	0.16-0.32 kW·h/kg
Material del Electrolito	Diferencia Potencial Promedio	Capacidad Especifica	Energia Especifica
Halogenos	0.5-1 V	4212 mA·h/g	2.1-4.2 kW·h/kg
LiAlCl	0.1-0.2 V	372 mA·h/g	0.03-0.074 kW·h/k

Fuentes:

- Noshin, Daowd, Van den Bossche, 2012 “Rechargeable Energy Storage Systems for Plug-in Hybrid Electric Vehicles—Assessment of Electrical Characteristics” Energies Pag. 2955

- Energy Management Agency Europe, 2012 “Guía del Vehículo Eléctrico” Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid, España Pag.47

En el tipo de **LiCoO₂**, vemos que es una batería de con capacidad intermedia lo que la hace útil para teléfonos celulares, laptops y cámaras, sin embargo no se descarta su aplicación en el uso de automóviles: HEV y PHEV, ya que estos no requieren mucha capacidad sino mayor relación P/E. Su costo elevado, moderado impacto ambiental, problemas de seguridad en sobre carga y pérdida de ciclabilidad han limitado su comercialización (Amarilla, 2011).

LiMn₂O₄ es una batería de menor costo que la anterior, además tiene la ventaja de tener bajo impacto ambiental, familiaridad con la tecnología con compuestos de manganeso y de mayor seguridad, entre sus desventajas está la pérdida progresiva de capacidad durante el ciclaje, disminución de la capacidad a elevadas capacidades de corriente, (Amarilla, 2011). Estas características la hacen ideal para la aplicación de coches PHEV, pero no descartaríamos la posibilidad de aplicarla a los coches EV por su mediano-alto poder.

LiNiCo es una batería que nace como alternativa de la batería LiCoO₂ para solucionar los problemas de seguridad, su buena capacidad hace que sea utilizado en teléfonos celulares, laptops y cámaras, aun es una tecnología en desarrollo. Con un voltaje nominal por celda de 3.7 V y una capacidad específica de 170 mAh/g (Noshin, Bossche, & Hegazy, 2012) esta batería tiene limitaciones muy parecidas a las de las baterías de LiCoO₂, costo elevado, problemas de seguridad con sobre carga y pérdida de ciclabilidad.

LiFePO₄ se ha convertido en una de las preferidas para coches eléctricos, veamos por qué; alta ciclabilidad, (mayor a 2000), alta estabilidad estructural (mayor seguridad), bajo impacto ambiental, reducción de costo (Amarilla, 2011) , con un voltaje por celda de 3.3 y una capacidad de 150–160, las baterías de Litio fosfato de hierro (LiFePO₄) con su estructura se propone como un candidato prometedor para superar la debilidad de los materiales de cátodo anteriores (Noshin, Bossche, & Hegazy, 2012). Entre sus limitantes

funcionales tenemos baja conductividad electrónica, lento coeficiente de difusión de iones, moderado potencial redox, (Amarilla, 2011), con estas características funcionales se pone entre los primeros lugares para la aplicación de coches PHEV y EV.

Li₀Ni_xMn_yCo_z son baterías que surgen (del 2003 adelante) como la búsqueda de materiales alternativos que dan lugar a capacidades superiores de hasta 200 mAh/g (Palacín, 2010), con un voltaje de 3.6 v, con 2000 ciclos profundos, aguanta temperaturas elevadas, con un alto nivel de energía específica de 140-180 Wh/kg, (Battery University, 2012), su nivel de seguridad superior al LiCo le permite ser candidato para la aplicación de coches eléctricos EV.

LiNiCoAlO Es menos común en el mercado, con un voltaje nominal por celda de 3.7 V y una capacidad específica de 180 mAh/g, (Noshin, Bossche, & Hegazy, 2012). Nace con el fin de mejorar la estabilidad del LiCoO₂ o LiNiO₂ o LiCoNiO añadiendo el aluminio beneficia para suprimir el aumento de la impedancia mediante la estabilización de la impedancia de transferencia de carga en el lado del cátodo y mejora de la estabilidad de electrolito (Noshin, Bossche, & Hegazy, 2012). Sus desarrollos inventivos se han dado desde hace más de 15 años lo que ha logrado alta energía específica y densidad de potencia, así como una larga vida útil, esto ha despertado el interés para la industria automotriz de automóviles eléctricos especialmente de los PHEV y EV por sus características funcionales.

Otra batería con un alto nivel de desarrollo tecnológico es el **Li₄Ti₅O₁₂** son Baterías de ión-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio, han sido conocidas desde la década de 1980. Li-titanato reemplaza el grafito en el ánodo de una típica batería de iones de litio y las formas materiales en una estructura de espinela. Li-titanato tiene un voltaje nominal de 2.40V por célula, es de carga rápida y proporciona una descarga de alta corriente de 10 ° C, o 10 veces la capacidad nominal. El conteo de ciclos se dice que es superior a la de una batería de litio ion regular, es segura, tiene excelentes características a baja temperatura de descarga y obtiene una capacidad de 80 por ciento a -30 ° C (-22 °

F). Tiene 65Wh/kg de energía específica, (Battery University, 2012). Pueden permitir trabajar en condiciones de alta potencia, son de mayor duración y sus tiempos de recarga son sustancialmente más cortos y, además, son más seguras, al contar con una gran estabilidad térmica. Representaron un importante avance respecto a las de níquel-cadmio por ser más ligeras, menos contaminantes, tener una mayor densidad de energía y no presentar efectos de memoria en los procesos de carga-descarga; todo ello constituyó una importante mejora de prestaciones y aplicaciones en teléfonos móviles y ordenadores portátiles. No obstante, su aplicación en otros sectores o la mejora en los que ya se vienen aplicando, aun siguen presentando algunos inconvenientes; entre los que caben destacar los problemas de seguridad cuando la temperatura sube por encima de 100oC, la limitación en la vida de la batería, el bajo ritmo de la carga y la limitación en la potencia. Este tipo de batería no solo es de aplicación en los sectores más convencionales actualmente de la telefonía móvil y los ordenadores portátiles, sino también en otros sectores como la industria del automóvil (incluyendo la posibilidad de vehículos eléctricos) o el mercado de sistemas de alimentación ininterrumpida (ESTIIC, 2009).

La familia de las baterías de iones de litio abarca una serie de químicas con base en los materiales utilizados en el ánodo y el cátodo. De acuerdo con las referencias los potenciales tipos de baterías de iones de litio candidatos para aplicación a automóviles EVs y PHEVs son:

- Litio fosfato de hierro (LiFePO_4);
- Batería de óxido de níquel cobalto manganeso (LiNiMnCoO_2);
- Batería de níquel cobalto y aluminio (LiNiCoAlO_2);
- Batería de óxido de titanato (LiTiO_2);
- Batería de óxido de espinela de manganeso (LiMn_2O_4).

Conscientes de que quedan muchos desafíos tecnológicos por las limitaciones funcionales actuales de las baterías de litio ion, las cuales sólo se podrán superar con la exploración de

nuevas combinaciones o mejorando las actuales como una forma de creación de diversidad, es importante hacer notar el papel que juegan las combinaciones químicas y limitaciones funcionales que resultan de esta búsqueda de nuevos modelos tecnológicos y el efecto en las trayectorias tecnológicas.

3.2.2 Interdependencia con otras tecnologías y la flexibilidad

La explicación del cambio tecnológico dentro de estas trayectorias se debe a diversos factores históricos y contingentes en complejos sistemas socio-tecnológicos. En este sentido consideraciones normativas, interrelación de tecnologías, consideraciones del mercado, competencia inter-empresarial y expectativas de crecimiento juegan un papel fundamental en la generación y promoción de tecnologías que dan forma a los cambios tecnológicos.

Para sustentar el argumento de que una interdependencia tecnológica influye de manera sustancial en la generación de conocimiento (limitándola) se utilizará la información de patentes para ver cuán sesgado está el segmento de las baterías de Litio-ion con respecto a otros desarrollos basados en la misma tecnología, estos desarrollos son parte de otros segmentos o sectores que demandan esta generación de conocimiento. Como segunda instancia en este apartado se analizará cada uno de los tipos de baterías, y se intentará encontrar una interrelación tecnológica que pueda estar limitando o impulsando el desarrollo innovativo de cierto tipo de batería.

Entonces por un lado tenemos las nueve categorías de baterías con su grupo de aplicaciones y por el otro lado tenemos patentes de otros diseños u otros sectores o productos de Litio-ion pero relacionados con el almacenamiento de energía.

El predominio de estos sectores puede limitar en cierta medida el desarrollo en otro sector, en vista de que los recursos son limitados y de que además existe una interdependencia con ciertas tecnologías muy demandantes.

Tabla 3.8. Relación de patentes por país y tipo de combinaciones de 1976 a 2011

País	Patentes	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄	LiNi	LiTiO	LiFePO ₄	LiAlCl ₄	Li+Hg	LiNiMnCoO	LiNiCoAlO	Otros
Japón	755	42	65	85	63	63	22	10	85	1	319
Usa	714	32	83	40	62	62	36	16	55	1	327
Corea	443	18	21	26	42		6	6	47		277
Canadá	62		12	2	1	5	3		4		35
Francia	62	2	4	10	7	9		1	13	1	15
Alemania	58		6	6	6	5	1	3	6		25
N/D	53		6	3	1	1	3		3		36
Taiwán	25		1	4	4	7	3		1		5
China	20		1	2	2	3	1		3		8
Gran Bretaña	6					1	1				4
Holanda	6	1									5
Italia	6		1	1		1		1			2
Dinamarca	5		2	1		1			1		0
China	4	1									3
Israel	2										2
Sud África	2		1								1
Suiza	2										2
Bélgica	1										1
Hong Kong	1										1
Suecia	1										1
	2228					1159					1069
En Porcentaje	100%					52%					48%

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la USPTO para el periodo de 1976 al año 2011.

En la tabla 3.8 se muestra la relación de países y patentes según el diseño de batería y observamos los siguientes resultados:

- Del total de patentes de la base (2228), sólo 1159 patentes están relacionadas con las combinaciones estudiadas lo que equivale al 52% de las patentes.
- El resto (48%) está destinado a otros desarrollos tecnológicos que cumplen con otras funciones, este efecto podría o no representar que ese grupo tiene una interdependencia con otras tecnologías u otros sectores tecnológicos, por ejemplo la aeronáutica o sistemas de control,
- Japon, Usa, Korea, y Alemania, excepto Francia, son los países más patentan en las combinaciones de esta investigación, sin embargo se observa que también patentan en otras tecnologías con Litio-ion que no están dentro de los 9 diseños.

En la tabla 3.9. se observa el tipo de aplicación para la cual se usan los diferentes tipos de baterías, esta información es importante ya que nos especifica los sectores demandantes, por lo tanto, la existencia de interdependencia con estos sectores que en su mayoría son tecnológicos en los cuales las baterías son una pieza clave de sus productos, ejemplo: celulares, laptops, cámaras entre otros.

**Tabla 3.9. Relación de interdependencia tecnológica
De los tipos de baterías de Litio-ion**

Tipo de Batería	Interdependencia
LiCoO ₂	Su mediana capacidad hace que sea altamente utilizado en teléfonos celulares, laptops y cámaras, estos sectores muy demandantes y en crecimiento le quitan protagonismo a aplicaciones como el de automóviles eléctricos, sin embargo sus niveles de contaminación elevados no le permiten desarrollos mayores en este sector por que en muchos países hay leyes ambientales estrictas, otra limitación que se suma a este tipo de baterías.
LiMn ₂ O ₄	Mayor seguridad, alto poder específico, larga duración lo hace requerido en equipos médicos y e-bikes, es un excelente candidato para la utilización en automóviles eléctricos PHEV y EV, sin embargo sus limitaciones en cuanto a la pérdida progresiva de capacidad durante el ciclaje, disminución de la capacidad a elevadas capacidades de corriente hacen que sea el sector de biotecnológico quien en este momento tome las riendas de la demanda en este tipo de baterías.

LiFePO ₄	Mayor seguridad, alto poder específico, larga duración lo hace requerido en equipos médicos y e-bikes, es un excelente candidato para la utilización en automóviles eléctricos PHEV y EV, sin embargo sus limitaciones en cuanto a la pérdida progresiva de capacidad durante el ciclaje, disminución de la capacidad a elevadas capacidades de corriente hacen que sea el sector de biotecnológico quien en este momento tome las riendas de la oferta en este tipo de baterías.
LiNiCo	Nace como alternativa de la batería LiCoO ₂ , su costo elevado, problemas de seguridad con sobre carga y pérdida de ciclabilidad, y una mediana capacidad deja a un lado el mercado de automóviles eléctricos y da carta blanca al mercado de los teléfonos celulares, laptops y cámaras, estos sectores muy demandantes además de sus limitaciones funcionales influyen en la búsqueda de otras alternativas para automóviles eléctricos.
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	Aunque es una tecnología relativamente joven, los logros que se han obtenido en cuanto desarrollos tecnológicos han sido bien utilizados por aplicaciones en teléfonos móviles y ordenadores portátiles, también han ganado importancia en tren de potencia eléctrica y redes de almacenamiento, sin embargo es un excelente candidato para su aplicación en automóviles eléctricos por lo que es una de las tecnologías más prometedoras dentro del grupo sin fuertes interdependencias.
LiNiMnCoO ₂	Tecnología muy prometedora que tiene un gran desarrollo tecnológico en estos años, sin una interdependencia tecnológica evidente, al parecer se perfila entre los favoritos de automóviles eléctricos quienes al parecer son los mayores demandantes de esta tecnología, Hasta ahora su aplicación esta comercialmente utilizada en equipos médicos y e-bikes.
LiNiCoAlO ₂	Por los grandes avances que se han logrado en estos años, se ha despertado el interés para la industria automotriz de automóviles eléctricos especialmente de los PHEV y EV. También ha tenido aplicaciones como redes de almacenamiento, no hay evidencia de interdependencia directa relacionada.
LiAlCl ₄	Como es una innovación en el electrolito, y estar aun en desarrollo no presenta indicios de interdependencia tecnológica con alguna tecnología o producto.
Li+Halogenos	Como es una innovación en el electrolito, y estar aun en desarrollo no presenta indicios de interdependencia tecnológica con alguna tecnología o producto.

Fuentes: (ESTIIC, 2009), (Battery University, 2012); (Amarilla, 2011)

Los sectores tecnológicos con mayor influencia en el desarrollo de nuevas invenciones, actividad inventiva, diversidad e influencia en las trayectorias tecnológicas de estas baterías son: el de los celulares, laptops, portátiles, y automóviles eléctricos, siendo esto una forma de interdependencia tecnológica.

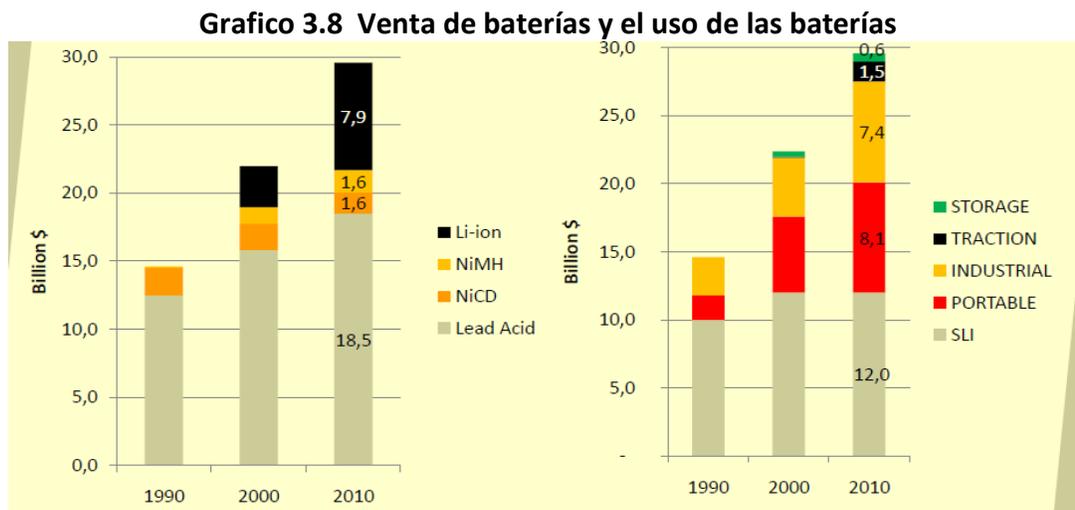
3.2.3. Influencia del mercado en el desarrollo tecnológico de las baterías de Litio-ion

3.2.3.1. Presente y futuro en el mercado de las baterías de Litio-ion

Desde hace mas de 200 años que las baterías han sido parte de nuestra cotidianidad, desde medios de comunicación, medios de transporte, herramientas de trabajo hasta sistemas de entretenimiento. Sin embargo el sector que nos trae a esta investigación es el de vehículos eléctricos y la evolución de las baterías en este sector específico.

Una de las características de las baterías son su diversidad, cada aplicación demanda una modificación sobre la batería, estos diferentes diseños de tamaño, energía, potencia tiene una demanda distinta y aplicación distinta lo que da vida a esta diversidad de diseños.

El mercado ha jugado un papel importante en este proceso, por ejemplo en el grafico 3.8 podemos observar las ventas que han generado los 4 tipos de baterías más utilizadas entre 1990 y el año 2010 en billones de dólares, lo más relevante es el incremento en las ventas en las baterías de NiMH y Litio-ion a partir del año 2000, la segunda más que la primera. A la derecha del grafico podemos observar los datos por uso de las baterías vale decir, uso en almacenaje, industrial, portabilidad, o tracción. Tanto la portabilidad como el uso el sector industrial tiene un incremento significativo, lo que concuerda con los resultados de patentes del anterior apartado.



Fuente: (AVICENNE-Development, 2012): AABC EUROPE 2011 Mainz, GERMANY

3.2.3.2. Mercado de las baterías Litio-ion

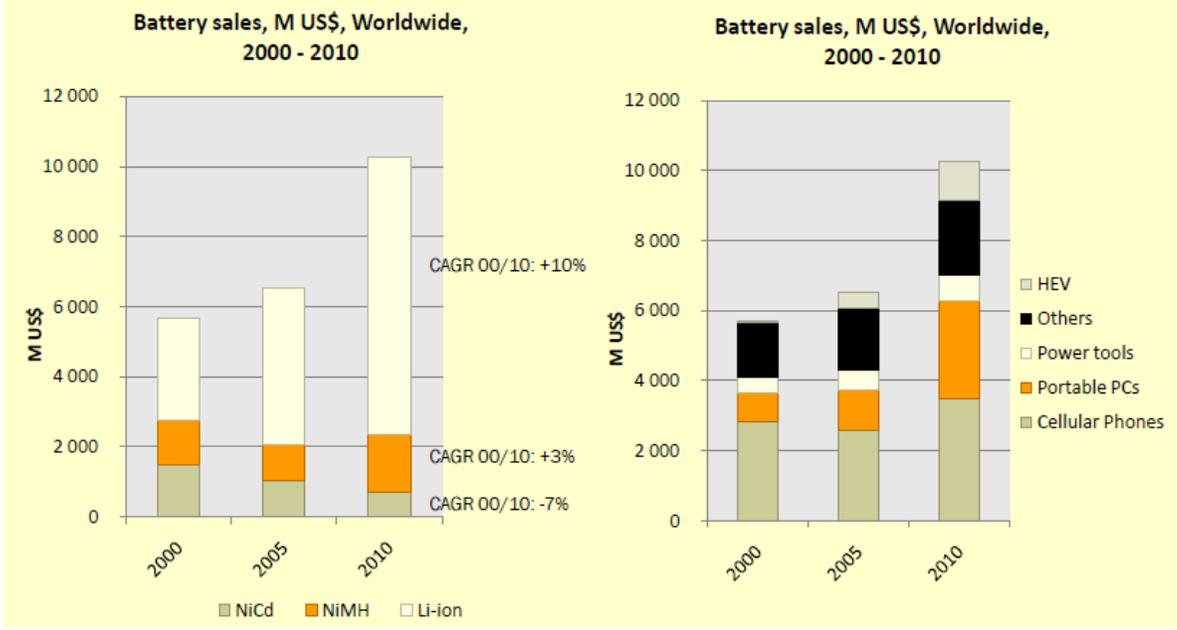
Desde el año 1985 que Sony y Asahi Kasei lanzaron la primera batería de Litio-ion comercial que ha tenido una serie de avances tecnológicos y obviamente ha entrado a cubrir diferentes necesidades energéticas convirtiéndose en una tecnología muy popular entre los medios electrónicos de nuestro entorno doméstico y laboral. Ordenadores portátiles, teléfonos móviles, iPods, PDA, herramientas eléctricas y vehículos eléctricos e híbridos eléctricos que requieren sistema de acumulación de energía fiable.

Las bondades de las baterías de Litio-ion están relacionadas con una reducción del peso de los dispositivos por unidad, además, el litio es un metal muy reactivo. Las llamadas baterías ácidas de plomo apenas pueden guardar 25 vatios por hora por kilogramo de peso. Seis veces menos que una de Litio-ion. Otra bondad de una batería de ión litio es que puede perder, en el peor de los casos, un 5% de su energía acumulada, una de níquel hidruro puede disipar nada menos que un 20% si no se recarga. Además, las baterías de ión litio no tienen lo que se denomina “efecto memoria”. También las baterías de Litio-ion pueden soportar cientos y cientos de ciclos de carga y descarga sin que se vea afectado su rendimiento. (Palacín, 2010, pág. 83)

Pese a todos estos avances y restricciones en los diferentes modelos de las baterías de litio-ion, el mercado ha tenido comportamientos sorprendentes en los últimos años, por ejemplo en la gráfica inferior podemos apreciar el incremento en las ventas de las baterías a partir del año 2000 según el tipo de batería (cuadro de la izquierda), un dato relevante es que en el año 2010 casi se duplican las ventas de baterías de litio comparado con el año 2000. Sin embargo una caída en las ventas de baterías de NiCd lo que nos podría indicar que esa tecnología está quedando obsoleta. En el gráfico de la derecha vemos los valores en ventas pero por segmento o tipo de aplicación donde los teléfonos celulares se destacan por el porcentaje de ventas continuo creciente, además las ventas de los dispositivos portables van en aumento pero lo más relevante es el crecimiento de ventas

de baterías para coches eléctricos híbridos, cuyo mercado empieza a partir del año 2000 con un crecimiento significativo.

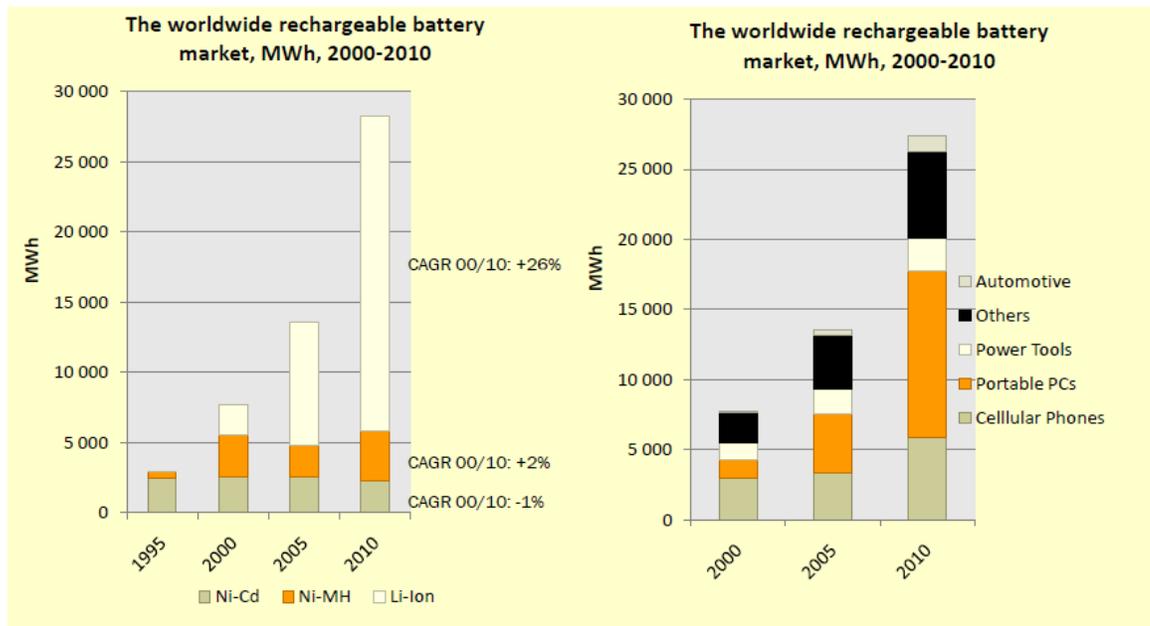
Grafico 3.9. Ventas de baterías por tipo y por aplicación en millones de dólares



Fuente: (AVICENNE-Development, 2012): AABC EUROPE 2011 Mainz, GERMANY

La demanda energética de las baterías, ha tenido su evolución de la misma forma que la tecnología, traduciendo este crecimiento en unidades de Mega Watts por hora (MWH) observamos en el gráfico 3.10. el cambio en las necesidades. En los últimos 15 años el requerimiento de energía por batería se multiplica varias veces, siendo las baterías de litio-ion a las cuales se les ha logrado un mayor rendimiento en capacidad, el sector más demandante es el de los dispositivos portátiles especialmente laptops pero además observamos que el sector de coches eléctricos muestra un comportamiento creciente ya superando las anteriores barreras de capacidad limitada.

Grafico 3.10. Demanda de Mega Watt por tipo de batería al 2010



Fuente: (AVICENNE-Development, 2012): AABC EUROPE 2011 Mainz, GERMANY

Es importante reconocer que el mercado actual de las baterías de litio tiene un nicho ganado en cierto tipo de segmentos, ya sea por la diversidad que presenta actualmente y las características que la hacen más eficiente a otras baterías de su mismo tipo teniendo un liderazgo innegable en el sector de dispositivos portátiles.

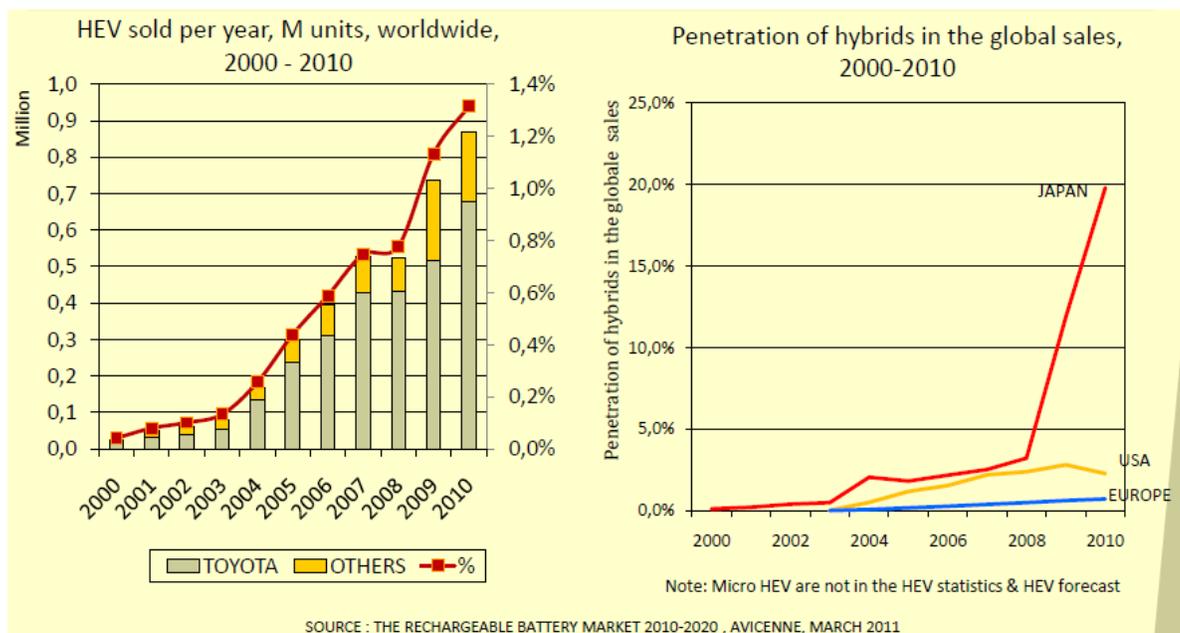
3.2.3.3. Competencia en los HEV y EV

El mercado de los HEV y los EV es un mercado aun chico, ya que actualmente las soluciones de transporte se cubren a través de los coches a combustión, sin embargo por diversos factores este mercado ha ido creciendo con los años y además se prevén crecimientos mayores como parte del cumplimiento a legislaciones en la reducción de emisiones de CO₂, este es un factor más que suficiente para justificar la transformación energética de transporte. “La reducción de gases de efecto invernadero se está convirtiendo en un objetivo prioritario para combatir el calentamiento mundial, podría aplicarse a un 70% de la población mundial para el año 2050. La reducción de la

contaminación urbana, con modos de transporte seguros y rápidos y la disminución de los costos de transporte son las prioridades" (Challenge Bibendum Booklets, 2010)

Por otro lado la tendencia a sustituir la dependencia del petróleo. "El rápido desarrollo de las economías emergentes (China, India, etc) y sus necesidades de acceder a mayor movilidad se traducen en una número creciente de vehículos y a necesidades de petróleo más grandes. El mundo cuenta con 800 millones de vehículos en 2010 conforme algunas estimaciones, la cifra podría subir de 2 a 3 billones el 2050, para una población humana superior a 9 billones. La producción de petróleo no será capaz de coincidir con este crecimiento: 85 millones de barriles por día en el año 2010, la cantidad tendría que aumentar muy por encima de 100 millones de aquí al 2050, una hazaña imposible dados los hechos que la producción global ha sido casi constante durante veinte años. La exclusiva dependencia del petróleo es un objetivo estratégico y el talón de Aquiles de nuestras económicas " (Challenge Bibendum Booklets, 2010).

Grafico 3.11. Ventas de coches HEV por año al 2010, y la penetración de los híbridos en las ventas globales



Fuente: *The recargable battery market 2010-2020*, (AVICENNE-Development, 2012).

En el gráfico 3.11. se observa que las ventas de coches híbridos en la última década han crecido casi triplicando la cantidad del año 2005 al 2010 dentro de la marca Toyota, pero en general la penetración de los híbridos ha tenido una notoria trayectoria en Japón el país que más tendencia al consumo de este tipo de coches tiene por la legislación y la estructura de transporte que ellos han diseñado (más económica y a gran escala).

De esta forma y con todo lo mencionado en párrafos anteriores, se concluye que la demanda es un factor decisivo en la búsqueda de nuevos diseños que cumplan con la demanda del mercado y principalmente en la generación de diversidad y trayectorias tecnológicas.

3.3. Conclusiones del Capitulo

El estudio con patentes nos ha permitido llegar a las siguientes conclusiones al respecto de la diversidad en las baterías de litio-ion:

- Un crecimiento exponencial a partir del año 1992 implicaría que la demanda por mejores baterías (seguridad, durabilidad y potencia) mueven al campo tecnológico. Ya para el año 2000 cuando salen a la venta los primeros automóviles eléctricos las necesidades del mercado en este sector se vuelven aun más críticas.
- De los nueve diseños presentados solo el 30% presenta una reducción en valores de diversidad, y el 70% restante presenta crecimiento.
- Los diseños con mayor aporte en innovación y desarrollo tecnológico son: LiTiO, LiNiMnCoO, LiFePO₄, LiniCoO₂ y LiniCoO₂.
- Si el 96% de las empresas del estudio son privadas y solo el 4% son centros de investigación o universidades, esto podría insinuarnos que hay empresas privadas que desarrollan estas tecnologías bajo encargo de un grupo de otras empresas que no necesariamente están en el rubro de las baterías pero si es un campo estratégico para su producto final, ejemplo: las automotrices que tiene en su cartera de productos los automóviles eléctricos y cuyo producto elemental son las baterías.

- Un dato interesante resulta el hecho de que las empresas que producen baterías son del sector electrónico (68%) y no del sector automotriz.
- Las empresas desarrolladoras han optado por diferentes diseños, es el caso de Samsung que dispone su mayor esfuerzo a baterías de LiFePO y LiNiMnCO a diferencia de Sanyo que dedica sus esfuerzos a LiMnO y a LiNiMnCO, finalmente LG Chemical Group que apuesta más a LiNiMnCO. Coincidentemente las tres creen en la tendencia en el uso del magnesio como complemento ideal en las baterías de litio-ion y aquí vemos el efecto multiplicador mencionado por (Holland, 2004).
- Los cinco primeros países que consolidan sus esfuerzos inventivos en orden de importancia: LiNiMnCoO, LiTiO, LiMnO, LiFePo y LiNi. coinciden con el análisis de empresas.
- En cuanto a materiales atractores definimos que el Manganeso, Níquel y Cobalto son los más propensos a seguir en la carrera de las innovaciones, y el Aluminio y los Halógenos tienden a desaparecer como elementos centrales.
- De acuerdo con las referencias los potenciales tipos de baterías de iones de litio candidatos para aplicación a automóviles EVs y PHEVs son: Litio fosfato de hierro (LiFePO₄); Batería de óxido de níquel cobalto manganeso ((LiNiMnCoO₂); Batería de níquel cobalto y aluminio (LiNiCoAlO₂); Batería de óxido de titanato (LiTiO₂);
- y Batería de óxido de espinela de manganeso (LiMn₂O₄).

Con respecto a las preguntas planteadas al principio del capítulo, concluimos que el estudio con patentes es suficientemente consistente para obtener indicadores de la evolución tecnológica de las baterías de Litio-ion y que la información de mercado y proyecciones hechas por expertos sí está en sintonía con los resultados de estos indicadores.

Capítulo IV. Conclusiones Generales

En un periodo de 35 años empezando en el año 1976 al 2011, la evolución de las baterías de litio en general ha sido el resultado de la búsqueda de mejores soluciones energéticas para un sin número de aplicaciones incluida la del sector de vehículos eléctricos HEV, EV y PHEV que como resultado de su auge en el año 1996, junto con los teléfonos celulares y *laptops*, han generado una expansión de esta tecnología en forma de equilibrio puntuado con un crecimiento en la actividad inventiva de forma exponencial.

Dentro de esta trayectoria tecnológica y una forma de explicación del cambio y de las limitaciones en la diversidad de las baterías de litio-ion en el sector de coches eléctricos HEV, PHEV y EV, las causas que producen la diversidad en las baterías de litio son el resultado de esfuerzos de exploración y explotación resultantes de empresas que surgen como parte de la competencia por obtener mejores resultados en el uso de esta tecnología aplicada a coches eléctricos HEV, EV y PHEV y también de otras aplicaciones como laptops y celulares, con ciertos elementos que combinados con el litio-ion se han convertido en tendencias tecnológicas.

Las causas que limitan la diversidad de las baterías de litio-ion en el sector de vehículos eléctricos HEV, EV y PHEV son: los límites propios de la tecnología dada por las características químicas entre compuestos que contienen o exceden las potencia, capacidad o energía reprobando los niveles de seguridad y durabilidad necesarios. Es también de considerar la interdependencia con otras aplicaciones que usan baterías de Litio-ion ya que estas comparten el 50% de la capacidad inventiva generada en el segmento de litio-ion en baterías, los nueve diseños considerados solo ocupan el 50% de las invenciones lo que indica que definitivamente existe una interdependencia con otras aplicaciones efectivas ó nichos de mercado aun en crecimiento.

Finalmente y de forma conclusiva, se define a la demanda como una forma de producción pero también de limitación en la generación de diversidad en el campo simplemente por los siguientes aspectos: la legislación en diferentes países para la reducción de la emisión

de carbono (considerando esto dentro de la categoría de la demanda), además la necesidad de cortar la dependencia del petróleo por parte de algunos países industrializados o no, y la conciencia social respecto a la búsqueda de tecnologías energéticas limpias que beneficien al cambio climático inducen el desarrollo de ciertas líneas tecnológicas como esta, pero al mismo tiempo limitan bajo sus condiciones.

Como resumen de las variables y los diseños analizados tenemos la siguiente tabla que contiene los puntos más relevantes en cuanto a cada batería y su relación con las variables. Ver tabla 4.1.

Según este resumen las baterías más apropiadas para la aplicación al sector de automóviles eléctricos son:

- Litio fosfato de hierro (LiFePO_4);
- Batería de óxido de níquel cobalto manganeso (LiNiMnCoO_2);
- Batería de níquel cobalto y aluminio (LiNiCoAlO_2);
- Batería de óxido de titanato (LiTiO_2);
- Batería de óxido de espinela de manganeso (LiMn_2O_4).

Tabla 4.1. Comportamiento de los Indicadores de Diversidad con relación a los diseños batería Litio-ion

Indicador Combinación	CAUSAS DE LA DIVERSIDAD				LÍMITES A LA DIVERSIDAD		
	Numero de patentes	Diversidad (Entropía)	País de Origen	Empresas o Instituciones*	Funcionalidad	Interdependencia	Demanda
LiCoO ₂	Corresponden a este tipo de batería el 8% de las patentes de la base	Entropía cero en los primeros 11 años, actividad esporádica hasta el 2000 y termina la última década con diversidad promedio de 0.13 terminando entre los tipos de batería con menor diversidad.	Solo el 8% de de la actividad inventiva producida por los países patentadores en baterías de litio ion esta relacionada con el tipo LiCoO, sus principales promotores Japón y Usa	Solo Samsung SDI ha apostado por desarrollar esta tecnología en los últimos años, y aunque no le ha dedicado mucho de su esfuerzo innovativo, ha sido consecuente con el desarrollo de esta tecnología	Costo elevado, moderado impacto ambiental, problemas de seguridad en sobre carga, perdida de ciclabilidad.	Su mediana capacidad hace que sea altamente utilizado en teléfonos celulares, laptops y cámaras.	Conociendo sus virtudes y limitaciones es una tecnología comercialmente explotada con una trayectoria de uso en automóviles: HEV y PHEV.
LiMn ₂ O ₄	Corresponden a este tipo de batería el 26% de las patentes de la base	Si actividad fue esporádica hasta el año 1999, a partir de ahí, la actividad inventiva fue subiendo de forma constante hasta lograr un equilibrio. Termina en el 1er lugar entre los tipo de baterías con mayor diversidad.	Un tipo de batería preferido por los USA y Japón que desarrollan baterías de Litio ion, tomando el 17% de las patentes desarrolladas de todo el grupo de países.	Valence y Sanyo líderes en este tipo de batería. Entre las 25 primeras empresas patentadoras contribuye el 13.9% de participación con esto queda en la misma magnitud con LiNiCo y LiTiO	Costo reducido, bajo impacto ambiental, familiaridad con la tecnología con compuestos de manganeso. Perdida progresiva de Capacidad durante el ciclaje, disminución de la capacidad a elevadas capacidades .	Mayor seguridad, alto poder específico, larga duración lo hace requerido en equipos médicos y e-bikes.	Su alto poder específico y larga duración le permite ser demandado para coches PHEV, supera en términos económicos a LiCo por lo tanto su demanda crecerá en los próximos años.
LiFePO ₄	Corresponden a este tipo de batería el 13% de las patentes de la base	Si actividad fue esporádica hasta el año 1993, a partir de ahí, la actividad inventiva fue subiendo de forma constante hasta lograr un equilibrio. Termina en el 3er lugar entre los tipo de baterías con mayor diversidad.	Con menos preferencia que los principales pero sin salir del grupo de los preferidos, abarca el 15% de la actividad inventiva de los países mas importantes en la industria. Al parecer estrategia de Usa Japón y Corea.	Samsung y Medtronic apuestan lograr de esta tecnología un éxito. Ocupa el segundo lugar en numero de patentes por las empresas mas patentadoras. 16.6% de participación e entre las patentes.	Alta ciclabilidad, estabilidad estructural, bajo impacto ambiental, reducción de costo,. Baja conductividad electrónica, lento coeficiente de difusión de iones, moderado potencial redox.	Mayor seguridad, alto poder específico, larga duración lo hace requerido en equipos médicos y e-bikes.	Su alto poder específico, alta ciclabilidad y larga duración le permite ser demandado para coches EV

Fuente: Elaboración propia con datos de esta investigación.

Tabla 4.2. Comportamiento de los Indicadores de Diversidad con relación a los diseños batería Litio-ion

Indicador Combinación	CAUSAS DE LA DIVERSIDAD				LÍMITES A LA DIVERSIDAD		
	Numero de patentes	Diversidad (Entropía)	País de Origen	Empresas o Instituciones*	Funcionalidad	Interdependencia	Demanda
LiNiCo	Corresponden a este tipo de batería el 13% de las patentes de la base	Si actividad fue esporádica hasta el año 1991, a partir de ahí, la actividad inventiva fue subiendo de forma constante hasta lograr un equilibrio. Termina en el 3er lugar entre los tipo de baterías con mayor diversidad.	Tipo de batería bastante desarrollada por Japón, se lleva el 15% de la actividad inventiva del grupo de los países en generación de conocimiento.	Samsung SDI y Japón Storage Battery empresas líderes en desarrollos tecnológicos de este tipo de batería, alcanzando el 14% de participación de las patentes.	Capacidad hasta 200 mAh/g a un precio menor que LiCoO.	Su buena capacidad hace que se altamente utilizado en teléfonos celulares, laptops y cámaras.	Su capacidad mayor a menor costo que el LiCoO presenta interesante perspectiva de cara al futuro.
Li4Ti5O12	Corresponden a este tipo de batería el 16% de las patentes de la base	Esta combinación entra en un periodo de exploración entre el año 84 y el 93 de ahí entra en un periodo de explotación hasta el año 2007. En los últimos 4 años es una de las combinaciones que mayor diversidad ha presentado.	Usa, Japón y Corea desarrollan aun este tipo de baterías, especialmente en los últimos años. Su participación es del 16% de la actividad inventiva.	Otra vez Samsung SDI, peor también Cannon y Valence Technology han apostado al desarrollo de este tipo de baterías, ninguna automotriz. Su participación es de 14% de las patentes.	Nanotecnología: carga rápidamente, asta 25.000 ciclos, densidad de potencia, temperatura de funcionamiento amplia, y una mayor estabilidad bajo tensión eléctrica y mecánica. Tienen menor energía específica.	Ganando importancia en tren de potencia eléctrica y redes de almacenamiento, no hay evidencia de interdependencia directa relacionada.	Aplicación en sectores de telefonía móvil y dispositivos portátiles y también en el sector del automóvil (HEV y PHEV) y en sistemas de alimentación ininterrumpida.
LiNiMnCoO2	Corresponden a este tipo de batería el 10% de las patentes de la base	No es sino hasta el año 94 que esta combinación empieza a desarrollarse con periodos de exploración y explotación muy variados, con un claro auge en el año 2009, al parecer la tendencia es explotación.	Para Japón y Corea representa su mayor inversión en desarrollo tecnológico, a pesar de que Usa también tiene gran participación no es el tipo de batería principal. Este tipo de batería tiene el 18% de la actividad inventiva de la base.	Samsung, Sanyo y LG Chem empresas privadas, no automotrices, son líderes en el patentamiento de esta tecnología que hasta ahora lleva el nivel mas alto de patentes. 20% de participación e entre las patentes.	Capacidad hasta 200 mAh/g a un precio menor.	Mayor seguridad, alto poder específico, larga duración lo hace requerido en equipos médicos y e-bikes.	Su alto poder específico, alta ciclabilidad y larga duración le permite ser demandado para coches EV

Fuente: Elaboración propia con datos de esta investigación.

. **Tabla 4.2. Comportamiento de los Indicadores de Diversidad con relación a los diseños batería Litio-ion**

Indicador Combinación	CAUSAS DE LA DIVERSIDAD				LÍMITES A LA DIVERSIDAD		
	Numero de patentes	Diversidad (Entropía)	País de Origen	Empresas o Instituciones*	Funcionalidad	Interdependencia	Demanda
LiNiCoAlO2	Corresponden a este tipo de batería el 2% de las patentes de la base	Al parecer esta tecnología surge el año 94, con algunos periodos de exploración no logra establecerse dentro del rango de las de mayor diversidad, muy posiblemente por su rendimiento tecnológico, probablemente necesita mayor exploración.	Pocos países apuestan a desarrollar este tipo de baterías, su diversidad es baja en los últimos 10 años donde se ve algo de actividad. Países que patentan en este tipo USA, Japón y Francia	Solo una empresa le ha dado sus esfuerzos a esta tecnología mucho mas que el resto, y es una filial de Toshiba, con solo el 3.8% de participación se queda en el penúltimo lugar de tipos de tecnología desarrollados por las empresas elegidas.	Capacidad hasta 200 mAh/g a un precio menor.	Ganando importancia en tren de potencia eléctrica y redes de almacenamiento, no hay evidencia de interdependencia directa relacionada.	Es menos común en el mercado, sin embargo su alta energía específica y densidad de potencia, así como una larga vida útil, llaman la atención de la industria automotriz.
LiAlCl4	Corresponden a este tipo de batería el 8% de las patentes de la base	Es claro que dentro de los primeros años de la serie había una tendencia por desarrollar esta tecnología del electrolito, sin embargo en los últimos periodos presenta una tendencia baja de desarrollo inventivo.	Pese a que Usa y Japón son los principales patentadores en este tipo de batería, estas patentes solo representan el 5% y el 3% de sus actividades. En forma global su participación es baja pero no descartable ya que es un sector de la batería (electrolito) diferente a lo visto en los otros tipos de baterías de litio.	La participación de las empresas privadas y publicas es baja, al parecer el desarrollo de electrolito no es un objetivo dentro del grupo como estrategia de desarrollo.	Las baterías de litio con electrolito basado en tetrachloroaluminate liño tienden a tener retrasos sustanciales de tensión después de almacenamiento a alta temperatura seguida con descarga a baja temperatura.	Por ser una tecnología relativamente en desarrollo no presenta indicio de interdependencia tecnológica con alguna tecnología o producto.	Su elevado precio y baja resistencia térmica lo ha hecho menos atractivo que los electrolitos basados en polímeros. Su demanda en el sector automotriz esta limitada ha nuevos desarrollos.
Li+Halogenos	Corresponden a este tipo de batería el 4% de las patentes de la base	Al igual que el tipo anterior, el desarrollo de este electrolito es intenso en la primera década para luego en el ultimo periodo mantenerse con niveles bajos de entropía.	Al igual que el anterior tipo sus desarrollos bajos no sobrepasan el 3% de la actividad inventiva de los países, no se debe descartar que se trabaja sobre desarrollo del electrolito por eso los niveles bajos de desarrollo.	Valence y Samsung son sus principales desarrolladores pero no en gran magnitud, el porcentaje de desarrollo dentro del grupo de excede el 3.1%	Estabilidad térmica, mayor rango de estabilidad electroquímica, ausencia de presión de vapor, inflamabilidad y resistencia a la oxidación. Las desventajas son el elevado precio y limitada resistencia en condiciones reductoras.	Por ser una tecnología relativamente en desarrollo no presenta indicio de interdependencia tecnológica con alguna tecnología o producto.	Su demanda esta sujeta a futuros desarrollos en la miniaturización y mayor estabilidad técnica.

Fuente: Elaboración propia con datos de esta investigación.

En lo que se refiere a la investigación hay una serie de aspectos que no se han podido cumplir o desarrollar. Entre estos podemos mencionar por ejemplo el desarrollo del indicador de aptitud, el cual tiene como objetivo poder detectar materiales puntuales de mayor uso en un periodo de tiempo que nos indique alguna tendencia y desarrollo de nuevos modelos de baterías de Litio-ion (paisajes de aptitud), la forma de poder lograr este indicador es mediante el uso de las referencias de las patentes, las cuales filtran aquellas relacionadas con los materiales específicos de esta investigación, sin embargo el momento de armar la base de datos la cantidad excedía los 64 mil datos, tanto el tiempo como los recursos para poder manejar esa base sobrepasaban las posibilidades de realización.

El aporte más significativo de este trabajo cae sobre la metodología basada en indicadores de diversidad que muestren patrones de evolución (causa-efecto) y que pueden ser usados en cualquier tecnología.

5. Bibliografía

- Fenotipo.com*. (12 de noviembre de 2002). Recuperado el 6 de 6 de 2012, de <http://www.fenotipo.com/>
- Abernathy, W., & Utterback, J. (1978). Patterns of innovation. *Technology Review*, 40-47.
- Amarilla, M. Á. (2011). *Desarrollo de Nuevas Baterías para Vehículos Eléctricos*. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid.
- Anderson. (2002). *Self-organization in Relation to Several Similar Concepts: are the Boundaries to Self-Organization Indistinct?* *The Biological Bulletin*, 202, pp. 247-255.
- Anderson, P., & Tushman, M. L. (1990). Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 4, 604-633.
- Antonelli, C. (2008). *Localised Technological Change*. Ed Routledge.

- Archibugui, D. (1988). In Search of a Useful Measure of Technological Innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 34, No. 3, 253-277.
- Archibugui, D., & Simonetti, R. (1998). Objects and Subjects in Technological Interdependence. Towards a Framework to Monitor Innovation. *International Journal of the Economics of Business*, Vol. 5, No. 3, 295-309.
- AVICENNE-Development. (02 de 02 de 2012). *AVICENNE Development*. Recuperado el 3 de 6 de 2012, de <http://www.avicenne.com/>
- Baldwin, & Clark. (2002). *"The Option Value of Modularity in Design"*. Harvard Business School.
- Battery University. (30 de 12 de 2012). *Battery University*. Recuperado el 4 de 04 de 2012, de <http://batteryuniversity.com/>
- CGGC. (2013). *Center on Globalization, Governance & Competitiveness*. Recuperado el 06 de 06 de 2012, de <http://www.cggc.duke.edu/>
- Challenge Bibendum Booklets. (2010). *Let's drive electric! electric and Hybrid Vehicles*.
- Darwin, C. (1859). *El origen de las Especies*. Ed. Pérez Galdós.
- DOE, D. o. (2007). *Plug in Hybrid Electric Vehicle R&D Plan*. USA: Retrieved.
- Dosi, G. (1982). Technological Paradigms and Technological Trajectories: a suggested interpretation of the determinants of technological change. *Research Policy*, Vol. 11, 147-62.
- Erdos, & Renyi. (1960). *On random graphs I. Publ. Math. Debrecen* 6,.
- ESTIIC. (2009). Aplicaciones industriales de la nanotecnología. *Proyecto NANO-SME*. (Encourager l'utiliSation de la Technologie, l'Innovation et la societ  de l'Information pour la Competitivit ).
- Fleming, & Sorenson. (2001). Technology as a complex adaptive system: Evidence from patent data. *Research Policy Forthcoming*.

- Frenken, K. (2000). A complexity approach to innovation networks. The case of the aircraft industry 1909–1997. *Research Policy* no. 29. , 257–272.
- Frenken, K. (2006). *Innovation, Evolution and Complexity Theory*. Ed. Edward Elgar Cheltenham U.K.
- Holland, J. (2004). *El orden oculto*. Obra original 1996: Ed. FCE.
- Hori, Y. (1998). Electric Vehicle, Its New Possibility. Retrieved August 17, 2010, <http://mizugaki.iis.u-tokyo.ac.jp/staff/hori/paperPDF/Nagasaki.pdf>.
- Jenner, R. (1966). An information version of pure competition. *Economic Journal* 76, 786-805.
- Kauffman. (1995). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. (1990). *Requirements for Evolvability in Complex Systems*.
- Lamarck, J.-B.-P.-A. d. (1809). *Filosofía Zoologica*.
- Levinthal, & March. (1993). The Myopia of Learning. *Strategic Management Journal*, 95-112.
- Lincoln, R. B. (2009). *Diccionario de ecología, evolución y taxonomía*. FCE.
- March, J. G. (1991). *Exploration and Exploitation in Organizational Learning*.
- March, J. G. (1991). Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, Vol. 2, No. 1, 71-87.
- Mendel, J. G. (1866). Versuche über Pflanzenhybriden. *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr, 1865*, 1-47.
- Mendenhall, W. (2006). *Introducción a la probabilidad y Estadística*.
- METI. (2009). *Patent Trend Report, Lithium Ion Battery*. http://www.jpo.go.jp/shiryoku/pdf/gidou-houkoku/21lithium_ion_battery.pdf.

- Mitchell, M. (2010). *Complexity: A Guided Tour*. Princeton University Press. .
- Nelson, & Winter. (1982). *An evolutionary theory of economic change*.
- Noshin, Bossche, v. d., & Hegazy. (2012). Rechargeable Energy Storage Systems for Plug-in Hybrid Electric Vehicles—Assessment of Electrical Characteristics,. *Energies* .
- Otalora Montenegro, D. L. (2011). *Estudio mecanico estadistico de redes complejas de dos modos y aplicacion en redes sociales*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Page, S. (2011). *Diversity and Complexity*. Princeton University.
- Palacín, M. R. (2010). "Avances recientes en el campo de los materiales para baterías de litio".
- Philip, B. (2004). *MAasa Critica*. Versión Original en inglés 2004, .: Fondo de Cultura Economica.
- Potts, J. (2000). En *The New Evolutionary Economics* (pág. 300). Ed Edward Elgar.
- Reyes, J. (2010). *Diversidad y Complejidad en el Sector de Baterias*. Universidad Autonoma Metropolitana . Mexico: Universidad Autonoma Metropolitana Xochimilco.
- Theil, H. (1965). The information approach to demand analysis. *Econometrica*, vol, 33, 67-87.
- USPTO. (20 de 03 de 2012). *United States Patent and Trademark Office*. Obtenido de <http://www.uspto.gov/patents/resources/classification/index.jsp>
- UTN, U. T. (12 de 12 de 2008). www.utn.edu.ec/. Recuperado el 3 de 03 de 2012, de www.utn.edu.ec/
- Wright, S. (1932). "The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution".

Wright, S. (1932). The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution. *Proceedings of the Sixth International Congress on Genetics*, (págs. 355-366).

6. Anexo . Tipo de vehículos eléctricos

Para entender mejor las opciones que hay para el usuario distinguiremos 2 grupos de coches eléctricos, aquellos que se conectan a una red de distribución eléctrica y aquellos que no lo hacen.

1) Vehículos eléctricos híbridos no “plug in”

En los siguientes cuatro tipos de vehículos, los usuarios deben seguir abasteciendo sus vehículos únicamente con combustible, con la promesa del consumo y la reducción de la contaminación.

a) Micro-híbridos. El motor se para cuando el vehículo se detiene y se reinicia automáticamente cuando el conductor pisa el pedal del acelerador. La ganancia económica de combustible puede ser hasta un 15%. La micro-hibridación no necesita una batería específica. Un generador de arranque funciona como un motor eléctrico para ayudar en el reinicio.

b) Híbridos suaves. Es el siguiente nivel de electrificación con dos funciones adicionales: frenado regenerativo (*Kinetic Energy Recovery System*, el sistema KERS) e impulsa la aceleración asistida. Tras el frenado, la energía cinética ya no es sólo dispersa en forma de calor, el motor eléctrico funciona como un generador y envía parte de la energía hacia acumuladores (baterías o supercondensadores) que se recargan.

c) Híbridos. Aún más avanzada su electrificación permite que el vehículo sea propulsado por el motor eléctrico, este es el "modo de emisiones cero", que, hasta la fecha, sólo es posible en torno a pocos kilómetros debido a la baja capacidad de las baterías usadas.

d) *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV) utiliza el hidrógeno como combustible para producir la energía eléctrica a bordo y de forma autónoma. Las baterías y / o ultracondensadores pueden servir como respaldo para la pila de combustible. El usuario debe parar en una estación de hidrógeno para llenar.

2) Vehículos eléctricos híbridos “*plug in*”

Los siguientes tres tipos de vehículos son aquellos que los usuarios puedan recargar su batería en la red:

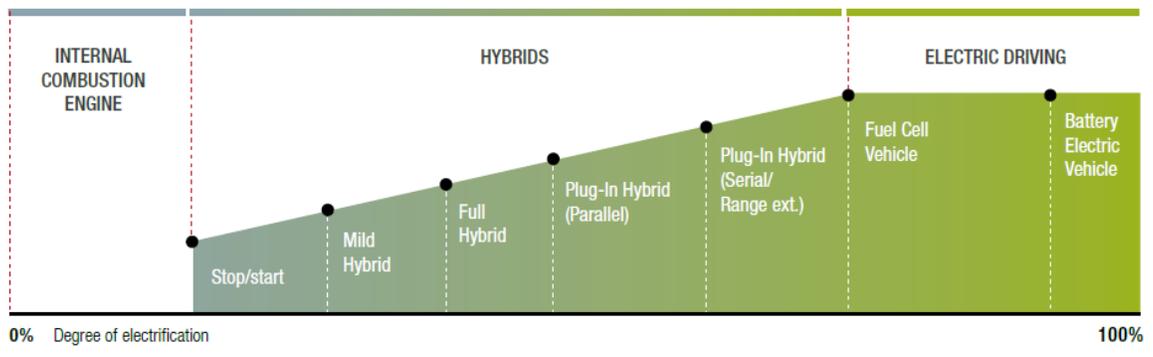
a) El híbrido recargable (Plug-in de vehículos híbridos, PHEV / PHV) es un nivel más avanzado de electrificación que el "híbrido completo", en la que el motor eléctrico y la baterías son, respectivamente, dimensionados con el poder y capacidad de ejecutar en modo eléctrico durante varios kilómetros. Su adaptabilidad y su capacidad para cruzar una ciudad en modo eléctrico significa que esta bien adaptado a las nuevas necesidades de determinados usuarios y marca un progreso significativo hacia la "emisión cero" de la ciudad. Para aumentar la autonomía eléctrica, el sistema comprende un cargador, una batería de una mayor capacidad (de iones de litio en lugar de Ni-MH) y el control electrónico. Se aumenta considerablemente el intervalo del vehículo en el modo eléctrico (20 km, en lugar de los 2 km de la actual Prius, por ejemplo).

b) Vehículo eléctrico con un extensor de alcance. El último nivel de electrificación, que puede ser considerado como la última fase antes del eléctrico total, es el vehículo de tracción eléctrica con un "Range Extender" (*Extended Range Electric Vehicle, EREV*). Su particularidad reside en su capacidad para recargar sus baterías mediante un pequeño motor utilizado como un generador eléctrico a bordo.

c) Recargable 100% eléctrico. Esta es la forma más simple de vehículo eléctrico y tiene una arquitectura "minimalista" de batería / controlador / motor eléctrico, sin motor de combustión auxiliar o generador de electricidad (excepto cuando el motor eléctrico se utiliza para la recuperación de energía cinética). La batería se recarga al enchufar el coche en un dispositivo de carga. Estos modelos ya existen en nuestra vida cotidiana: Nissan Leaf,

Mitsubishi i-MiEV y vehículos de uso limitado debido a su tiempo de carga y baja autonomía

Grafico 3.19. Tipo de coches eléctricos y grado de electrificación.



Fuente: Roland Berger Consultores Estratégicos, 2009