

RED DE
INNOVACIÓN
AUTOMOTRIZ



Nuevas Tecnología Vehiculares
ESTADO DEL ARTE.

Amadeo Arguelles CIC
Ismael Araujo Vargas ESIME CU
Ilse Cervantes CICATA QRO.
Enero 31 2020

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2 AUTONOMÍA Y SEMIAUTONOMÍA VEHICULAR.....	4
Principios fundamentales y aspectos relevantes de la movilidad inteligente.....	6
El fenómeno movilidad inteligente – sector automotriz	7
Tendencias de la movilidad inteligente.....	7
Conducción autónoma.....	10
Predicción y personalización	11
Desarrollo de software ágil	15
¿Cómo se conecta la movilidad inteligente a una ciudad inteligente?	17
¿Cómo se ve la movilidad inteligente en el mundo real?	17
Conclusión.....	20
3. ELECTRIFICACIÓN DE TRANSPORTE	22
Electrónica de potencia.....	22
Convertidores de Corriente Directa a Directa (CD-CD).....	22
Referencias.....	24
Convertidores de Corriente Alterna a Directa (CD-CD)	28
Referencias.....	34
Estrategias de manejo de energía	37
Problemas de gestión de energía: soluciones existentes	39
Referencias.....	42
Manejo de Energía en vehiculos-redes	44
Referencias.....	45
Tren de potencia	46
Referencias.....	47

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector de la industria automotriz está experimentando un cambio radical que llevará a producir de manera distinta los vehículos los próximos veinte años. La forma convencional de producir un auto está cambiando, no sólo impulsado por los desarrollos tecnológicos actuales (por lo que se puede hacer), sino también orientado por las necesidades de mejora ambiental, eficiencia energética, economía y rendimiento, además de bienestar social y facilidades de movilidad (lo que se debe hacer). Estos cambios en la manera de fabricar vehículos tienen como consecuencia un cambio importante en los recursos y la infraestructura invertidos, por lo que se está demandando de innovación tecnológica e investigación científica que permita renovar dicha infraestructura.

Ahora se concibe un vehículo como una herramienta de bienestar social, la cual deberá proporcionar entre otras cosas las siguientes: i) confort y seguridad a los usuarios, ii) alta movilidad en ciudades con alta densidad poblacional, iii) alta conectividad y seguridad de la información, ya que debe estar conectado de manera segura a otros dispositivos a través de la internet y otras redes de comunicación, considerando los conceptos de ciudades inteligentes, iv) autonomía de conducción, ya que debe desarrollarse como un vehículo autónomo bajo reglas fundamentales de funcionamiento en un contexto global, de alta necesidad de movilidad y eficiencia, v) alta eficiencia energética y que emplee energías limpias.

La ciencia y la tecnología son ingredientes decisivos para la transformación económica y social de un país. Según ProMexico, la clave del desarrollo y la consolidación de la industria automotriz y autopartes en México, reside entre otras cosas, en el éxito de la transferencia tecnológica y de conocimiento a la industria nacional, de manera que eleve su competitividad a través de la integración de la cadena de producción vehicular, con proveeduría y servicios nacionales, Sólo en nuestro país, la falta de competitividad supone pérdidas millonarias, según estima INEGI problema que se prevé continuará y agravará en el proceso de transformación automotriz hacia las nuevas tecnologías vehiculares¹.

Con base en lo anterior, la Red de Expert@s en Innovación Automotriz planea incidir sobre los problemas mencionados mediante:

- La investigación científica y el desarrollo tecnológico,

¹ El término “nuevas tecnologías vehiculares” es un término genérico que se ha acuñado en la literatura especializada y que incluye muchos temas como: electrificación del transporte, transporte inteligente, sistemas avanzados de seguridad y conectividad, entre muchos otros.

- La transferencia tecnológica y provisión de servicios a la industria,
- La formación de recursos humanos.

Sin embargo, la incidencia efectiva en los tres rubros depende esencialmente de que los expertos de la red, puedan incidir en temas pertinentes dentro las líneas de investigación cultivadas; estas son:

- i) Electrificación de Transporte.
- ii) Transportación autónoma y semi autónoma.
- iii) Tecnologías de Transición hacia lo Eléctrico.

Electrificación de Transporte. Tiene su motivación en la necesidad de reducir las emisiones de contaminantes al ambiente aprovechando las tecnologías limpias y renovables. Esta tendencia tecnológica ha tomado fuerza los últimos 20 años a partir de la evolución de la electrónica de potencia y de la capacidad de almacenamiento de energía, en particular de las baterías de litio, los supercapacitores y los sistemas basados en hidrógeno. Estos aspectos han hecho factible tecnológicamente la electrificación del transporte, que en su comienzo se conocía como evolución “más eléctrica”, por la inclusión gradual de tecnología eléctrica en sustitución a la mecánica, hidráulica y neumática. Esta sustitución ha sido más rápida en transporte de pequeña y mediana potencia, como es el automotriz y ha planteado muchos retos en potencias más altas en donde la inclusión de energías alternas y diseños más eficientes son las preocupaciones principales para lograr dotar de viabilidad técnica a estas aplicaciones. En este rubro se incluyen procesos de electrificación a través de celdas de combustible (hidrógeno, metano y otras). El alcance inicial de esta propuesta incluye los temas de electrificación de transporte privado y público no masivo. Se prevé que la red pueda influir en la investigación y formación de recursos humanos en el tema de electrificación de transporte masivo, en la medida de que los profesores e investigadores con los perfiles necesarios se adhieran a la red y de que la misma investigación realizada, vaya rompiendo las barreras tecnológicas existentes.

Transportación autónoma y semiautónoma. Tiene su motivación en garantizar la sustentabilidad de la transportación de un mundo que cada vez tiene más vehículos y en el que se prevé que no sólo la cantidad de vehículos crezca, sino también, las interacciones vehiculares y su complejidad. Estas interacciones deberán garantizar la seguridad de los pasajeros en un ambiente cambiante y de evolución dinámica rápida. Estadísticas de la Administración de la seguridad en las carreteras en EUA (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) establecen que el factor humano es causa de accidente de entre un 70 a un 90 por ciento del total, por lo que la hipótesis de sustitución humana por decisiones en línea automatizadas de gran rapidez son la base

en la que reside esta tecnología. El alcance inicial de esta propuesta incluye los temas de autonomía del transporte privado, público no masivo, y ciertos casos de transporte público masivo, confinado (trenes, metro). Se prevé que la red pueda influir en la investigación y formación de recursos humanos en el tema de autonomía de transporte masivo, en la medida de que profesor@s e investigador@s con los perfiles necesarios se adhieran a la red y de que la misma investigación realizada, vaya rompiendo las barreras tecnológicas existentes.

Tecnologías de Transición hacia lo Eléctrico. Como parte del proceso continuo de la mejora de los diseños vehiculares, se establecen tecnologías de transición que por ser intermedias hacia lo eléctrico garantizar la viabilidad técnica, mientras reducen las emisiones o el impacto ambiental de la transportación convencional. En estas tecnologías, se encuentra el uso de biodiesel, de combustión dual, entre otras.

2 AUTONOMÍA Y SEMIAUTONOMÍA VEHICULAR

La autonomía/semiautonomía vehicular, está motivada de manera última con la idea de facilitar la movilidad de personas y de mercancía. La movilidad inteligente consiste en emplear diversos enfoques del conocimiento para brindar soluciones en las distintas modalidades de transporte que funcionan al lado de, o en lugar de, aquellos vehículos que utilizan combustible fósil para el traslado de personas y bienes. Existen diversas perspectivas respecto de su implementación, como lo son los viajes compartidos, vehículos compartidos, transporte público, caminar, andar en bicicleta, sensores, comunicación y análisis de datos, inteligencia artificial, seguridad y muchas otras más. La creciente congestión vehicular y sus efectos secundarios, como la contaminación, el estrés, baja productividad, fallecimientos y el tiempo perdido en el traslado de personas y de bienes, conduce a la necesidad de pensar objetivamente en la movilidad inteligente. Este documento responde la pregunta “¿Qué es la movilidad inteligente?” y de qué manera se asocia con una ciudad inteligente. Muestra las tendencias sobre las tecnologías que pueden considerarse de impacto en la industria automotriz y menciona estudios de caso de empresas del sector relacionadas con tecnología basada en inteligencia artificial orientada a la solución de problemas de movilidad inteligente.

La movilidad inteligente es el cambio de manera de pensar del cómo nos movemos de una manera más limpia, segura y eficiente. Neckermann llama a esto la nueva visión: “Cero emisiones, cero accidentes, cero impacto” (Neckermann, 2015). En el espectro de soluciones de movilidad inteligente se incluyen una amplia gama de modos de transporte: monopatines eléctricos (scooters), bicicletas (eléctricas, regulares,

plegables), autobuses, trenes ligeros, trenes subterráneos, tranvías, taxis, vehículos autónomos, caminar, entre otros.

Con la llegada de la era digital al sector automotriz se está generando un nuevo ecosistema de traslado de personas o bienes, nuevas formas de mejorar la experiencia de las personas en referencia a la forma de emplear transporte privado y público, lo que permite concebir formas de traslado o desplazamiento multimodal empleando las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Atendiendo la diversidad de posibilidades que la industria del transporte puede ofrecer, se han dispuesto proyectos de inversión y desarrollo de vehículos autónomos, analíticas con Big Data, internet de las cosas, tecnologías disruptivas y servicios al cliente, provocando que continuamente se reporten avances en distintos foros y esferas de comunicación global (Hensher, 2017).

Al conjunto de estudios asociados al transporte desarrollados con las tecnologías de la información y la comunicación se le denomina movilidad como servicio (MaaS). El Grupo de Trabajo MaaS de la UITP la define como la integración de, y el acceso a, diferentes servicios de transporte (transporte público, compartir el coche, compartir la bicicleta, compartir scooters, taxis, alquiler de coches, paseos en coche, entre otros) en una única oferta de movilidad digital, con movilidad activa y un sistema de transporte público eficiente como su base. Este servicio a medida sugiere las soluciones más adecuadas en función de las necesidades de viaje del usuario. El concepto MaaS está orientado a la disponibilidad en cualquier momento de medios de transporte, considera y ofrece la planificación, reserva y el pago integrados, así como información en ruta para proporcionar una fácil movilidad y permitir la vida sin la necesidad de contar con un auto (MaaS Working Group, 2019).

El modelo MaaS está definido para poder realizar su operación con base en regulaciones y contratos que hacen posible su operación a través de las TICs. Como ejemplo se encuentran los servicios punto a punto que ofrecen empresas de redes de transporte (ERT) como Uber, Cabify, Didi, Beat, Bolt, entre otros, que mediante aplicaciones colocadas en celulares ofertan sus servicios de movilidad.

En la situación de mejorar las capacidades de movilidad en las grandes urbes se encuentran involucradas empresas del sector tecnológico como IBM y Microsoft, que desarrollarán plataformas que ofrecerán múltiples servicios de conectividad. Con esta base emergerán nuevos modelos de negocios, que aborden conceptos desde la “transportación bajo demanda” hasta ofertas de conectividad de primera y de última milla; para lograrlo, los fabricantes de vehículos están superando los límites en términos de proporcionar experiencias de transporte.

Algunas cifras relevantes asociadas al fenómeno de movilidad inteligente: durante el periodo 2012 al 2013 se observó que el mercado global de vehículos compartidos creció un 50 %, con un total de 3,5 millones de miembros (Frost & Sullivan, n.d.); en el 2020, se espera que dicha cifra alcance los 26 millones. Los mercados de arrendamiento, de vehículos compartidos y de alquiler están convergiendo y creciendo, mientras que el uso de vehículos privados disminuye. Los vehículos eléctricos alcanzarán 13,4 millones de unidades en circulación para el 2022. En el 2020, el 90% de

los autos en venta contará con características de conectividad y se espera que 48 millones puedan ser capaces de establecer comunicación de datos.

Principios fundamentales y aspectos relevantes de la movilidad inteligente

El concepto va más allá de identificar formas alternativas de transporte. La movilidad inteligente se basa en los siguientes principios:

- **Flexibilidad:** El hecho de que existan varios modos de transporte permite que los viajeros elijan cuál funciona mejor en los desplazamientos que deben realizar.
- **Eficiencia:** El viajero llega a su destino con interrupciones mínimas y en el menor tiempo posible.
- **Integración:** Todo el recorrido está planeado de puerta a puerta, sin importar qué modo de transporte se utilice.
- **Tecnología limpia:** El transporte está dejando de lado a los vehículos que contaminan para cambiar a vehículos cero emisión.
- **Seguridad:** Las fatalidades y lesiones se reducen drásticamente.

Otros dos aspectos de la movilidad inteligente son la accesibilidad y el beneficio social, lo que significa que debe ser asequible para todos y ayudar a proporcionar una mejor calidad de vida (Hessel, 2015).

Una amplia gama de fuerzas impulsoras tendrá un impacto en el futuro de la movilidad, tomando en cuenta consultas con OEM automotrices, Tier 1, compañías de TI, startups y otros actores relevantes en el nuevo ecosistema de movilidad. Esto dio como resultado 36 fuerzas impulsoras que Gartner agrupa en seis categorías diferentes: regulación, organización, sociedad, tecnología, economía, ecología (Isert & Ramsey, 2018).

Por otra parte, en el informe “Future of Mobility 3.0” (Van Audenhove et al., 2018), la empresa Arthur D. Little y el UITP brindan instrucciones estratégicas para los proveedores de soluciones de movilidad en cinco dimensiones (sentido del propósito, experiencia del usuario, excelencia en la operación, integración del ecosistema y transformación) y proporciona una actualización del índice de movilidad urbana, que describe el rendimiento de los sistemas de movilidad en 100 ciudades de todo el mundo de acuerdo con criterios que evalúan la madurez de la movilidad, impacto al medio ambiente, accidentes, la innovación, el desempeño, entre otros. Los resultados muestran que, de esas ciudades, únicamente 10 se encuentran por encima de los 50 puntos de 100 ofrecidos por la evaluación: Singapur 59.3 puntos, Estocolmo 57.1 puntos, Amsterdam 56.7 puntos, Copenhague 54.6 puntos y Hong Kong 54.2 puntos. Aún las ciudades más

avanzadas en materia de transporte tienen oportunidades de mejora. México se encuentra cerca del promedio, ubicada entre los 40 y 44 puntos.

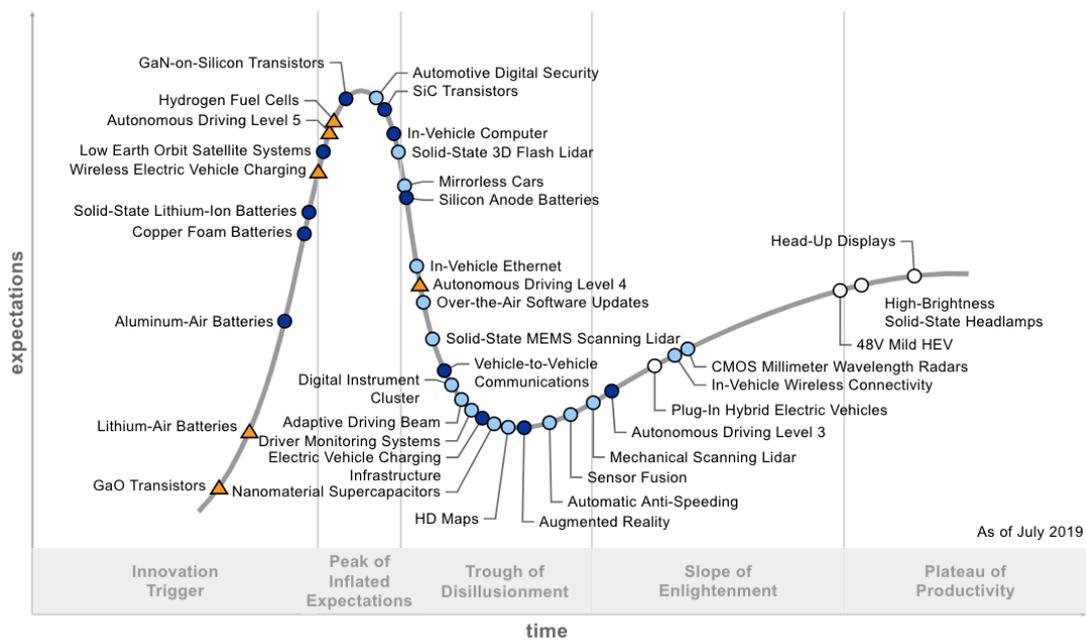
El fenómeno movilidad inteligente – sector automotriz

En el ecosistema de automoción y movilidad, la empresa Gartner reporta una lista no exhaustiva de alrededor de 300 empresas con intereses para incorporarse al escenario de movilidad inteligente (Isert & Davenport, 2018). Entre estas empresas se destaca un número importante que emplean la inteligencia artificial (IA) para ofrecer movilidad personalizada y optimizada. Estos cambios son consecuencia de incorporar la informatización a los vehículos, así como su conexión a la nube. Derivado de la naturaleza dinámica de los servicios y soluciones basados en software, las empresas los pueden depurar mediante iteraciones e implementar actualizaciones de manera inalámbrica en los vehículos después de su producción y operación en campo, aunque esto implica problemas asociados con implementar mejores prácticas para monetizar el modelo de vehículos conectados.

Los avances en materia de cómputo, la disponibilidad de los datos y el desarrollo de las redes neuronales profundas han provocado la proliferación y el crecimiento acelerado de estudios de caso de la inteligencia artificial en el sector automotriz. El interés por no solo incrementar el rendimiento operativo, sino además mejorar la experiencia del usuario mediante el empleo de interfases utilizadas en el automóvil, ha colocado a la inteligencia artificial y al software como partes fundamentales de los procesos de innovación y de fabricación, así como del valor agregado desarrollado en el sector.

Tendencias de la movilidad inteligente

Es importante observar el cómo los actores que determinan el avance tecnológico llevan a cabo su actividad con la mira puesta en mejorar los servicios que ofrecen e incrementar los retornos de inversión. El desarrollo de la tecnología se muestra en la figura 1, que muestra la madurez tecnológica (Hype Cycle for Automotive Electronics) reportada por la empresa Gartner en el 2019, mientras que la figura 2 muestra las tecnologías incorporadas en las unidades vehiculares empleadas en el ramo automotriz de vehículos particulares.



Plateau will be reached:

○ less than 2 years ● 2 to 5 years ● 5 to 10 years ▲ more than 10 years ✕ obsolete before plateau

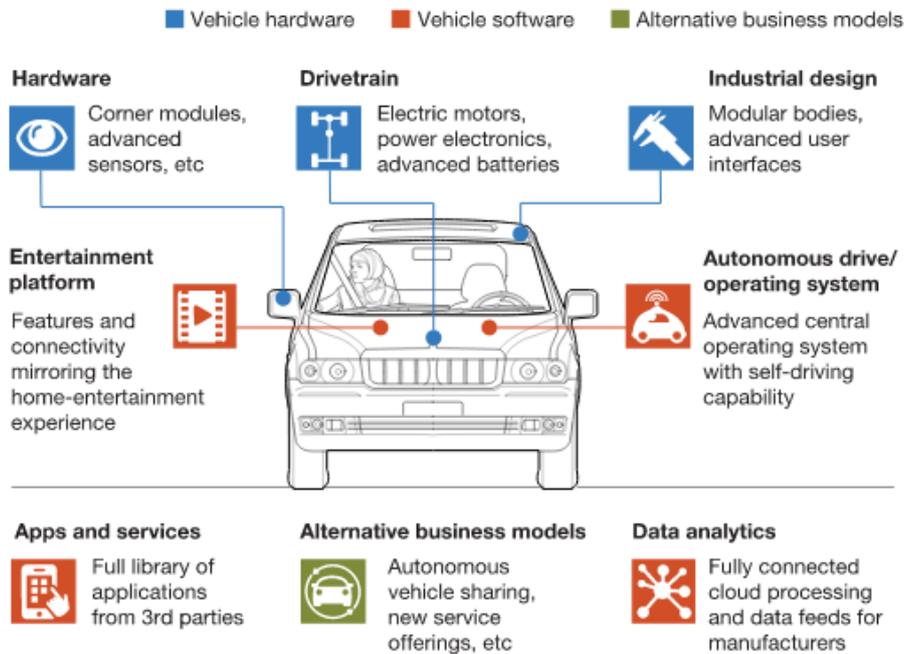
© 2019 Gartner, Inc.

Figura 2.1. Curva de madurez tecnológica asociada a las tecnologías involucradas en el sector automotriz (Cortesía de Gartner).

Las tecnologías asociadas para el caso de movilidad inteligente son:

- Automotive Digital Security
- In-Vehicle Computer
- Solid-State 3D Flash Lidar
- Mirrorless Cars
- In-Vehicle Ethernet
- Autonomous Driving Level 4
- Over-the-Air Software Updates
- Solid-State MEMS Scanning Lidar
- Vehicle-to-Vehicle Communications
- HD Maps
- Augmented Reality
- Automatic Anti-Speeding
- Sensor Fusion
- Autonomous Driving Level 3
- Vehicle-to-Vehicle Communications
- Driver Monitoring Systems
- HD Maps
- Augmented Reality
- Automatic Anti-Speeding
- Sensor Fusion
- Autonomous Driving Level 3

In the future, cars will become computers on wheels as tech players move into the automotive sector to leverage their existing capabilities.



McKinsey&Company | Source: 35 expert interviews (across Asia, Europe, and United States)

DATA and the CONNECTED CAR

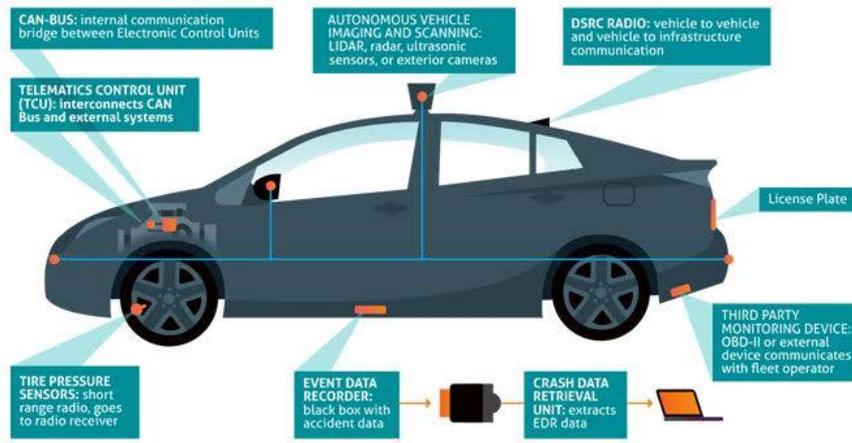


Figura 2.2. Tecnologías incorporadas a vehículos privados, empleadas para la operación de la unidad y el registro de variables que son relevantes para la movilidad y el servicio de unidades sin o con autonomía.

Siguiendo el orden de ideas, el uso de tecnologías como la inteligencia artificial es clave para el futuro de la movilidad inteligente, por lo que a continuación se mencionan cuatro

ejemplos de empresas que realizan esfuerzos por transformar el mercado de movilidad y emplear soluciones impulsadas por la IA en el rubro de comprensión del comportamiento humano que forma parte del ecosistema automotriz. Otra área de relevancia y que esta cubierta por las grandes empresas de TI y empresas de procesamiento de lenguaje natural tradicionales es el área de asistentes de movilidad virtual.

La movilidad inteligente ya presenta en la actualidad casos de éxito que los ciudadanos perciben y que forman parte de sus actividades diarias. Se abordan ejemplos en la siguiente sección.

Conducción autónoma

Perceptive Automata (www.perceptiveautomata.com) se encuentra ubicada en Boston, Massachussets y Sunnyvale, California. Con la tecnología que desarrolla apoya a los vehículos autónomos a comprender y predecir el comportamiento de peatones, ciclistas, conductores de otros autos y otros participantes en el tráfico. Aborda uno de los problemas más difíciles y criticos para vehiculos autónomos.

Los seres humanos son increíblemente buenos para hacer juicios intuitivos sin esfuerzo sobre las acciones probables de las personas, y es esencial que los futuros vehículos autónomos necesiten incorporar esta habilidad crítica. Esta limitación puede hacer que los prototipos actuales de conducción autónoma conduzcan de una manera paranoica, disminuyendo la velocidad o deteniéndose por completo en presencia de personas cuando no sea necesario, como es evidente en varios videos publicados por empresas de conducción autónomas.

Esta conducción paranoica sería nauseabunda para los pasajeros e irritante para los conductores humanos que comparten el camino con estos prototipos de vehículos autónomos. Los principales grupos de conducción autónomos ahora entienden que no habrá despliegue significativo de vehículos autónomos sin la capacidad humana de predecir el comportamiento de otros participantes del tráfico.

Perceptive Automata ha resuelto este problema a través de su IA de intuición humana. Los modelos de redes neuronales profundas de la compañía usan datos ricos similares a los que usan los humanos para emitir juicios sobre otros humanos en el camino. Su software digiere los datos de detección y clasificación de objetos y genera, en tiempo real, un amplio conjunto de datos de predicción del comportamiento humano. La información adicional puede incluir atención y señalización.

Estos datos de salida se introducen en los módulos de toma de decisiones de conducción autónoma como datos adicionales para permitir decisiones de conducción más seguras y fluidas. A pesar de la riqueza de los datos que Perceptive Automata digiere y genera, su software se ejecuta en configuraciones de almacenamiento y cómputo con pocos recursos. Actualmente, el software solo admite entrada de cámara, pero la compañía está trabajando en sensores adicionales como cámaras LIDAR y térmicas.

La compañía fue fundada por alumnos de Harvard y MIT, recaudó \$ 20 millones en capital y está trabajando a nivel mundial con un conjunto diverso de clientes y socios, incluidos OEM, proveedores y compañías de movilidad geofencidas, para integrar su software en sus paquetes de conducción autónomos y asistencia avanzada para el conductor. aplicaciones de sistemas (ADAS). Diseñan para facilitar la integración, y el software tendrá licencia para los clientes.

Retos: aunque el problema que aborda Automata perceptivo es una parte crítica de la pila, y los resultados son impresionantes, sigue siendo solo una parte muy pequeña del desafío más grande de la conducción autónoma. Además, existe el riesgo de que las empresas que trabajan en esta área resuelvan este problema por su cuenta, utilizando sus propios algoritmos de aprendizaje automático. Durante el etiquetado y la capacitación, podrían clasificar este comportamiento como uno de una amplia gama de otros parámetros que deben determinarse para resolver la tarea de manejo. El momento también podría no ser el adecuado para algunos clientes potenciales porque podrían centrarse en otras partes de su sistema de conducción autónomo. Además, los Autómatas perceptivos deben tener cuidado para evitar sesgos implícitos en sus datos de entrenamiento y los resultados generados por sus algoritmos para evitar sesgos en la estrategia de conducción, como por ejemplo, según la raza o el género.

A quién debería importarle: los CTO y CIO en las startups de conducción autónoma, y los Tier 1 y OEM que trabajan en soluciones full-stack deberían investigar la solución Perceptive Automata para integrarla en su pila de software. Al hacerlo, pueden simplificar sus esfuerzos de desarrollo porque pueden construir sobre una solución de trabajo. Utilizando los datos predictivos proporcionados por el software Perceptive Automata, los CTO y CIO pueden optimizar la estrategia de conducción de sus vehículos autónomos para adaptarse al comportamiento humano y hacer que la conducción sea mucho más segura y cómoda. Además, para diferenciarse de su competencia, los proveedores de soluciones de otras partes de la pila de conducción autónoma tal vez quieran integrarse ya con el software Perceptive Automata para poder ofrecer un paquete de software más completo y sinérgico a sus clientes de conducción autónoma.

Predicción y personalización

Las empresas en este sector emplean la IA para la extracción de información contenida en los datos.

Sentiance (www.sentiance.com) es una empresa con base en Antwerp, Bélgica. Su objetivo consiste en emplear IA para emplear los datos sin procesar de patrones de movilidad de las personas y convertirlos en información práctica.

Sentiance utiliza la inteligencia artificial para transformar los datos sin procesar recopilados de los sensores de movimiento de teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles en una comprensión semántica detallada del comportamiento humano que cubre todos los modos de transporte. Estos datos se interpretan y se utilizan para predecir actividades futuras y obtener información procesable. La biblioteca de software

de Sentiance ayuda a las empresas a abordar la parte de personalización y predicción del círculo de movilidad habilitado por IA. Las principales áreas de aplicación existentes son la calificación del conductor y el seguro basado en el uso. Las nuevas características realmente geniales permiten la personalización contextual, el estilo de vida y el entrenamiento de la salud, y soluciones de transporte multimodal para clientes. Desde su fundación en 2015, Sentiance ha estado trabajando con una variedad de empresas en movilidad inteligente.

Para obtener una comprensión completa del comportamiento y las necesidades de movilidad de los clientes, es esencial abordar todas las modalidades y la movilidad de extremo a extremo. Esta información se puede recopilar mejor de los dispositivos que los clientes llevan consigo la mayor parte del tiempo, como teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles. Sentiance proporciona un kit de desarrollo de software (SDK) que está optimizado para un bajo consumo de energía en Android y iPhone, y utiliza el acelerómetro, el giroscopio y la ubicación para recopilar datos del usuario. En un primer paso, el sistema usa herramientas locales de inteligencia artificial para enriquecer los datos con información de tiempo y ubicación semántica, y clasificar eventos como conducir, caminar o restaurantes. Los datos agregados se utilizan para comprender por qué las personas toman ciertas acciones y se encuentran en ciertos lugares. En el siguiente paso, esto se transforma en momentos como "viaje diario", "compras", "deporte", etc. En un paso final, el software de la compañía también puede clasificar los tipos de personalidades en función de los momentos recopilados, cada uno con un rango de probabilidad. Para todos esos elementos, Sentiance también puede proporcionar predicciones, como dónde estará una persona en el futuro.

Esta funcionalidad se puede probar descargando su aplicación de demostración "Journeys" para teléfonos inteligentes. Esto proporciona una demostración de los servicios basados en la nube que interactúan directamente con el front-end.

Es muy importante para los clientes potenciales, como los fabricantes de automóviles o los proveedores de servicios de movilidad, que la filosofía de Sentiance con respecto a la recopilación de datos se dirija a las necesidades de sus clientes comerciales. Sentiance funciona solo con datos de origen, lo que significa que sus clientes poseen todos los datos generados: Sentiance es el procesador de datos. Los clientes pueden usar los datos para cualquier propósito que consideren adecuado y estar de acuerdo con los usuarios finales, por ejemplo, en lo que respecta a la personalización, diferenciación y provisión de servicios. Estos datos son críticos para comprender a los clientes de movilidad, y es un componente fundamental para mejorar los algoritmos de inteligencia artificial y tener éxito en el futuro de la movilidad inteligente.

Este enfoque requiere que los clientes de Sentiance desarrollen sistemas sólidos para el mantenimiento y la eliminación de datos privados, para cumplir con GDPR y legislación similar. Sentiance es plenamente consciente de esos problemas y cumple totalmente con GDPR.

Desafíos: aunque el software está especialmente diseñado para un bajo consumo de energía, aún requiere mucha activación del sensor, como el subsistema de ubicación y

la transmisión de datos. Por lo tanto, puede agotar las baterías de sus clientes. La recopilación de datos y la interpretación son capaces de pintar una imagen muy detallada de la vida y el comportamiento de las personas y permite un seguimiento continuo. Estos son datos muy confidenciales, y la privacidad y la seguridad deben ser de extrema importancia, especialmente a la luz de la regulación GDPR en Europa. Las empresas que usan este SDK deben hacer declaraciones claras en su política de privacidad de datos y convencer a los clientes de que cuidan bien estos datos confidenciales y proporcionar un beneficio aún mayor. El incumplimiento de estos objetivos es un riesgo comercial significativo.

A quién debería importarle: los CIO y los líderes de TI que trabajan para completar el círculo de movilidad futura habilitado por AI deben investigar la solución de Sentiance para una posible integración en sus aplicaciones complementarias de movilidad.

Los operadores de flotas deben evaluar Sentiance para el monitoreo y la calificación de los conductores en función de los teléfonos inteligentes si las soluciones integradas no son posibles o son demasiado caras.

Optibus (<https://www.optibus.com/>) es una empresa israelí que se ubica en Tel Aviv, Israel y emplea los datos en optimización de horarios de transporte. Mediante una plataforma de planificación y programación ahorra a los operadores de transporte millones de dólares, reduce la contaminación y mejora la calidad del servicio que reciben los clientes. Mediante el empleo de algoritmos de optimización e IA analizan horarios, rutas, tipos de vehículos, requisitos del conductor, números de pasajeros y otras variables para identificar la forma más eficiente de transportar personas alrededor y entre ciudades. Estas técnicas le permiten a la empresa Optibus evaluar y comparar diversos escenarios y crear el plan de tránsito óptimo para vehículos y conductores.

Para los operadores de transporte, el costo de poseer y operar el transporte público es considerable, mientras que los márgenes de ganancia son escasos, a menudo tan bajos como 3%. El aumento de la rentabilidad al aumentar los ingresos es un desafío, por lo que Optibus ayuda a los operadores a extraer costos a través de la optimización operativa, lo que puede conducir a una mejora significativa en la rentabilidad. Optibus tiene un cliente de estudio de caso que vio duplicar las ganancias. Antes de utilizar la solución Optibus, muchos clientes confiaban en hojas de cálculo, software heredado y experiencia para formular y administrar los horarios. Ahora los clientes tienen acceso a un software como servicio basado en la web en el que alimentan datos utilizando API y otras integraciones. Optibus utiliza su tecnología para identificar dónde está la demanda y cómo se puede satisfacer de la manera más eficiente posible, optimizando la red al hacer coincidir la demanda con la oferta de transporte. El modelo de software Optibus predice los cambios en las variables de conmutación, como los controladores, el bus de una o dos plantas, y qué factores de impacto como el clima tendrán según la demanda y el tiempo de ejecución.

Existen muchas opciones para ejecutar un sistema de transporte público donde los enfoques informáticos clásicos no son efectivos. Sin embargo, los algoritmos de

optimización avanzada y el aprendizaje profundo permiten a Optibus identificar mejores soluciones que el enfoque "humano en el bucle" utilizado anteriormente para resolver este complejo problema.

Desafíos: los clientes objetivo de Optibus gestionan las necesidades de transporte de millones de personas en las ciudades. Los métodos utilizados por algunos clientes para la planificación y programación, como el uso de lápiz y papel, hojas de cálculo o software heredado, han existido durante mucho tiempo. Esto ha generado renuencia a probar nuevas formas de planificar y programar rutas.

Por lo tanto, existe una renuencia a alejarse de la previsión basada en hojas de cálculo y el establecimiento de horarios debido a los riesgos percibidos que implica cometer un error. Como resultado, Optibus debe comprometerse al más alto nivel dentro de las organizaciones (a menudo el Director de Operaciones o CEO) para explicar la escala de los beneficios e invertir mucho tiempo y esfuerzo para realizar una venta. La compañía descubrió que simplemente explicar a los clientes los beneficios que ofrecerá su solución, proporcionar demostraciones en vivo de la funcionalidad del software e incluso facilitar pruebas de conceptos a pequeña escala no es suficiente para ganar clientes. En cambio, Optibus emprende iniciativas de prueba de valor, que pueden llevar varias semanas. Esto implica trabajar con el cliente para cargar datos y comprender los parámetros locales, como los patrones de interrupción del controlador y los acuerdos sindicales para mostrar los posibles escenarios de cronograma del cliente utilizando datos reales. El resultado de esta actividad es un pronóstico de ahorro de costos basado en los nuevos horarios y patrones. Una vez que Optibus demuestra el valor de su producto, se entrega una tasa de conversión de aproximadamente el 80%.

Junto con esto, como una startup, Optibus también se enfrenta al desafío permanente del alcance, con un gran mercado global que perseguir y pocos competidores: está avanzando para crear este mercado. Esto conlleva grandes cargas en términos de educación de los clientes objetivo.

A quién debe importar: organizaciones que brindan servicios de transporte para el público en general, para estudiantes y personal. Estos incluyen operadores de redes de transporte, operadores de autobuses, universidades, aeropuertos y compañías que brindan servicios de autobuses.

Los clientes que operan la movilidad como un servicio y los servicios de transporte a pedido deben comprometerse con Optibus, que está desarrollando soluciones para resolver estos complejos problemas de optimización de la demanda.

Las empresas que utilizan vehículos eléctricos (VE) también estarán interesadas en la herramienta de planificación de flota EV de Optibus. Esto ayuda a las organizaciones a seleccionar una flota apropiada (tamaño del vehículo, capacidad de la batería, tipo de tecnología), aprender cómo se pueden operar estos vehículos eléctricos en la práctica, saber cuándo tendrán que cargarse e identificar dónde se debe hacer esto.

Desarrollo de software ágil

Aurora Labs (www.auroralabs.com) es una empresa ubicada en Tel Aviv, Israel. Apoya a las compañías a desarrollar mejores productos empleando IA. La tecnología de Aurora es fundamental para marcar el comienzo de una nueva era de desarrollo ágil de software, proporcionando beneficios de implementación e integración continuas. Alcanza este objetivo ayudando primero a los fabricantes de automóviles a predecir dónde ocurrirán los problemas, utilizando aprendizaje automático para rastrear los millones de líneas de códigos que se ejecutan en un vehículo, buscando la deriva del software. El sistema Aurora Labs se repara automáticamente, lo que permite que el software se revierta a una ubicación segura conocida. Finalmente, es compatible con la implementación eficiente de nuevo software al actualizar solo el delta o los cambios en el código. Este enfoque delta tiene una serie de beneficios:

- Recorta costos de transferencia de datos (al trabajar con tamaños de archivos que pueden ser la mitad del tamaño en otros contextos) y acelera la implementación.
- Actualiza el software sobre la marcha, lo que no permite reiniciar
- No necesita invertir en memoria A / B o cambiar la aplicación del cargador de arranque existente.

Pasar al desarrollo ágil de software será una característica clave del futuro desarrollo de software automotriz. Esto incluye flotas emergentes de vehículos autónomos, donde el aprendizaje automático y la recopilación de datos sobre el comportamiento de los vehículos en diferentes situaciones, ubicaciones y entornos serán esenciales para proporcionar operaciones seguras. La mayoría de los OEM y proveedores automotrices han comenzado la transformación ágil o lo han estado haciendo por más tiempo. Aurora Labs puede proporcionar bloques de construcción importantes para que esta transformación sea exitosa en la capa de herramientas.

Regulaciones como las ISO 26262 o instituciones de pruebas de seguridad tales como NCAP promueven la detección y reacción a fallas basadas en software dentro de los vehículos. Los retos que las empresas automotrices enfrentan en este rubro son importantes, dada su fortaleza y comportamientos arraigados en la fabricación de dispositivos mecánicos para la seguridad, ya que requieren de un cambio cultural e inversión en investigación y desarrollo. Deberán desarrollar habilidades internas para la transformación y el cambio de paradigma que está ocurriendo.

Existen organizaciones como EPAM que, al igual que Aurora Labs, proponen un desarrollo moderno del software automotriz, aunque esto conduce a escenarios bastante retadores. Cuando se habla de actualizaciones tipo delta o al vuelo (OTA), esto plantea un riesgo en los ingresos de los concesionarios de automóviles. Cuando se retiren los vehículos, la red de concesionarios actualizará el software en los vehículos y le cobrará al OEM alrededor de \$150 dólares por vehículo. Las actualizaciones de Delta reducirán significativamente el tiempo requerido para la actualización de una conexión por cable en el concesionario y las actualizaciones de OTA eluden totalmente al concesionario.

Como resultado, los distribuidores, que son partes interesadas y poderosas de la cadena de valor automotriz, se resisten a este desarrollo. En lo que respecta a los Estados Unidos, es un requerimiento legal que un tercero realice el mantenimiento vehicular. Esta legislación amenaza esquemas de provisión de OTA y plantea un desafío para empresas como Aurora Labs al limitar la efectividad de partes de su solución en el segundo mercado automotriz más grande del mundo.

Debemos recordar que la industria automotriz tiene como máxima la reducción continua de costos de retiro mediante la identificación temprana de fallas, y potencialmente, eliminar los retiros por completo mediante el uso de actualizaciones de software al vuelo o por aire. Los gerentes que trabajan en organizaciones reguladoras y de estándares que buscan ejemplos de mejores prácticas sobre cómo se puede implementar el desarrollo ágil de software deben buscar empresas como Aurora Labs.

Aurora Labs trabaja con OEM automotrices, desarrolladores de tecnología de conducción autónoma y cualquier proveedor de la cadena de valor automotriz que utilice software en su solución. Los clientes ven a Aurora Labs como una forma de reducir los costos de su lista de materiales (al reducir los requisitos de memoria) y mejorar la seguridad de sus equipos (reducir las relaciones públicas negativas, los asentamientos y las lesiones). Los OEM automotrices que buscan responder a las amenazas emergentes de los nuevos participantes en el mercado pueden avanzar hacia un desarrollo de software ágil aprovechando la tecnología de Aurora. Como resultado, los OEM pueden proporcionar una excelente experiencia de usuario actualizando sin problemas el software en el vehículo de un cliente, sin tiempo de inactividad.

¿Cómo se conecta la movilidad inteligente a una ciudad inteligente?

Las ciudades pueden responder a estos cambios e integrarlos en su planificación. [Columbus, Ohio](#), por ejemplo, comenzó a recopilar datos de tráfico para identificar y abordar temas de seguridad antes de que se conviertan en problemas, tales como la identificación de puntos de colisión en las calles de la ciudad y la detección de posibles problemas de señalización. Esta ciudad está en camino de convertirse en la primera ciudad inteligente de Estados Unidos gracias a una subvención del Departamento de Transporte de EE. UU. y el análisis de estos datos será la base de todos los proyectos de la ciudad para convertirse en una ciudad inteligente.

En resumen, una ciudad inteligente no responde a cuestiones de congestión mediante la construcción de más carreteras, sino que busca otras opciones. Las opciones populares incluyen animar a la gente a que camine más, se movilice en bicicleta y utilice el transporte público. Algunas opciones más innovadoras incluyen tanto redes de sensores, que ayudan a los viajeros a evitar las calles congestionadas, como los datos agregados, que pueden proporcionarle información valiosa a las ciudades (Pilon-Bignell, 2017, 2018).

¿Cómo se ve la movilidad inteligente en el mundo real?

No hay una solución única para una ciudad inteligente: los ejemplos reales varían desde un distrito en Corea del Sur que fue construido desde el principio para ser una ciudad inteligente hasta las viejas ciudades y pueblos de Europa que no tienen espacio para construir y que han implementado diversas soluciones para reducir el número de vehículos en las calles.

Bicicletas en Barcelona Se calculó que había unos [500 servicios de bicicletas compartidas](#) (nota en inglés) en el mundo en el 2013 y el 20 % de ellos está en España. Las ciudades con los sistemas más grandes de bicicletas compartidas en el país eran Barcelona, con 6000 bicicletas, y Valencia y Sevilla, con 2000 cada una. (París tiene el sistema más grande de bicicletas compartidas en Europa con 23 000 unidades).

Barcelona tiene cerca de [1,6 millones de habitantes](#) (nota en inglés). Se estima que su sistema de bicicletas compartidas, [Viu Bicing](#) (nota en inglés), [evita](#) (nota en inglés) una fallecimiento y un gasto de 2,5€ millones cada año. Los usuarios de este sistema pagan solo 47€ al año, en el supuesto de que no incurran en cargos por pagos tardíos. Los usuarios pasan una tarjeta de plástico con banda magnética por un lector de Viu Bicing en una estación de bicicletas para tomar una prestada. Si la bicicleta es devuelta dentro de 30 minutos en otra estación, el usuario no paga nada más. El sistema trabaja en asociación con la ciudad y hay estaciones de bicicletas en todas partes, por lo que es fácil para los usuarios encontrar una.



El transporte público rápido (MRT) sin conductores de Singapur

El número creciente de residentes (más de [5,6 millones de personas](#) [nota en inglés]) y la cantidad de vehículos (casi [1 millón](#) [nota en inglés] de vehículos de motor), han hecho que la [Autoridad de transporte terrestre](#) (nota en inglés) (LTA, del inglés Land Transportation Authority) y la Sociedad de transporte inteligente de Singapur (ITSS, del inglés Intelligent Transportation Society Singapore) se reúnan para crear un sistema de transporte inteligente para mejorar los viajes de las personas. El plan estratégico de movilidad inteligente de Singapur para el 2030 es un ejemplo de un plan inteligente que se centra principalmente en el transporte. El proyecto pretende ser informativo, interactivo y de asistencia, y utilizará movilidad sostenible. La LTA y la ITSS han esbozado tres estrategias clave para lograr sus metas:

1. Implementar innovadoras soluciones de movilidad inteligente y sostenible.
2. Desarrollar y adoptar estándares de sistemas inteligentes de transporte.
3. Establecer asociaciones cercanas y en conjunto

Los Países Bajos y su gran cantidad de datos

Los Países Bajos siempre han estado a la vanguardia por ser un país en el que se puede andar en bicicleta. Las postales de Ámsterdam, por ejemplo, frecuentemente muestran filas y montones de bicicletas como prueba de ello. Pero los Países Bajos hacen mucho más que solo construir ciclovías (nota en inglés).



Foto: [amsterdam-street-canal-bike-2261212](#) bajo licencia [CCo Creative Commons](#). Ámsterdam tiene una población de unos 800 000 habitantes. Hace más de 10 años, se embarcó en un proyecto basado en datos para analizar la información que había recopilado sobre sus habitantes. Los líderes del proyecto llevaron a cabo un análisis y, finalmente, integraron los datos de los 32 departamentos de la ciudad, que tenían, entre todos, 12 000 bases de datos llenas de información.

Lo que surgió fue una lista de 100 proyectos experimentales. Uno de ellos, por ejemplo, exploraba cambiar el sistema de camiones de basura separados para recoger la basura y los artículos reciclables a un solo camión que recogiera todo. Esto redujo el número de camiones de basura en la calle y, dado que muchas calles de Ámsterdam son estrechas, fue un beneficio bien recibido.

Sin embargo, Ámsterdam no fue la única ciudad que realizó mejoras a su sistema de transporte. Woensdrecht, una pequeña ciudad con 22 000 habitantes, mejoró su ciclovía de 9,6 km a Bergen op Zoom, una localidad vecina, con la instalación de luces LED que se encienden automáticamente solo cuando pasa una bicicleta o un automóvil. Aunque la instalación de estas luces significó una inversión considerable, estas utilizan menos electricidad que las incandescentes y duran más. Además, se pueden equipar con cámaras y micrófonos, receptores de Wi-Fi con red en malla, futuros puntos con transmisión de 5G y sensores de la calidad del aire.

Distrito de negocios de Songdo en Incheon, Corea del Sur

Corea del Sur tiene una cualidad única, y es que, a diferencia de muchos países del mundo, tiene terreno disponible para construir ciudades desde cero. Sin el impedimento de infraestructuras y edificios antiguos, el país puede crear lo que deseen sus autoridades planificadoras, que es el caso del distrito de negocios de Songdo en Incheon, una ciudad con alrededor de 3 millones de personas que se encuentra aproximadamente una hora al oeste de Seúl. Songdo fue construido en 607 hectáreas de tierras ganadas al mar Amarillo para albergar alrededor de 300 000 personas y atraer a empresas y escuelas internacionales. La ciudad tiene objetivos ambiciosos: ser respetuosos con el medioambiente (más de [100 edificios cuentan con certificación LEED](#) [nota en inglés]), apto para bicicletas y [libre de automóviles](#) (nota en inglés).

El distrito está conectado a través de su sistema de tren subterráneo con los sistemas de transporte de Seúl e Incheon. Los autobuses también están en uso y los desarrolladores prometen tener una parada a 12 minutos de cada barrio. Además, se está construyendo una extensa red de ciclovías y las estaciones de carga para vehículos eléctricos ya están en uso.

Esta ciudad inteligente, sin embargo, es más que solo movilidad inteligente:

- Los tubos neumáticos recogen y manejan los residuos de manera subterránea, lo cual elimina los camiones de la basura en las calles.
- Los televisores en las residencias están conectados para que los residentes puedan acceder a la administración municipal.
- Las luces y la calefacción de las residencias se pueden controlar desde un panel central en la casa o apartamento o desde un teléfono inteligente.
- Un único centro de control en el distrito monitorea 300 cámaras de seguridad interactivas que cuentan con sistemas de llamada de emergencia.

Aún en proceso y quizás adelantada a su tiempo, Songdo espera marcar las pautas y convertirse en un centro de innovación e investigación. Sin embargo, la gente se ha demorado en mudarse a la ciudad; su población no ha alcanzado los niveles esperados. Esto es una advertencia para los planificadores y programadores: aunque una ciudad sea inteligente, también debe comprender y satisfacer las necesidades de los residentes.

Conclusión

La movilidad inteligente promete una comodidad verdadera: utilizar el modo de transporte que mejor se adapte a cada persona, lo cual garantiza una mejor salud y

permite ahorrar dinero. Las opciones para implementar la movilidad inteligente son tan variadas como los sabores de helado, lo cual les da espacio a los municipios para encontrar soluciones personalizadas para sus residentes.

Con la predicción de que la [población mundial](#) (nota en inglés) alcanzaría los 8,5 mil millones en el 2030, 9,7 mil millones en el 2050 y 11,2 mil millones en el 2100, la necesidad de encontrar una mejor solución para el transporte se vuelve cada vez más apremiante. Aquí es donde entra en juego la movilidad inteligente.

Referencias

- [1] Frost & Sullivan. (n.d.). Future of Mobility. Retrieved from <https://ww2.frost.com/research/visionary-innovation/future-mobility>
- [2] Hensher, D. A. (2017). Future bus transport contracts under a mobility as a service (MaaS) regime in the digital age: Are they likely to change? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 98, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.02.006>
- [3] Hessel, V. (2015). *Smart Mobility-A tool to achieve sustainable cities*. Retrieved from http://www.vt.bgu.tum.de/fileadmin/woobnf/www/VKA/2014_15/150212_Smart_Mobility_v5_TUM.pdf
- [4] Isert, C., & Davenport, J. (2018). Cool Vendors in Automotive and Smart Mobility. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.gartner.com/document/3891412?ref=gfeed>
- [5] Isert, C., & Ramsey, M. (2018). Use Scenarios to Plan for the Future of Mobility 2025: The Driving Forces. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.gartner.com/document/3891591?ref=ddrec&refval=3891412>
- [6] MaaS Working Group, U. – I. A. of P. T. (2019). *MOBILITY AS A SERVICE*. Retrieved from www.uitp.org
- [7] Madrigal, A. C. (2018). Study: Mapping Apps May Make Traffic Worse - The Atlantic. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2018/03/mapping-apps-and-the-price-of-anarchy/555551/>
- [8] Neckermann, L. (2015). *The mobility revolution : zero emissions, zero accidents, zero ownership*.
- [9] Pilon-Bignell, J. (2017). Data-Driven Smart City Insights: Intelligent Datasets and Urban Analytics for Digital Cities. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.geotab.com/smart-city-insights/>
- [10] Pilon-Bignell, J. (2018). Smart Columbus Operating System Paves the Way. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.geotab.com/blog/smart-columbus-operating-system/>
- [11] Schneider, B. (2018). New Study of Global Traffic Reveals That Traffic Is Bad - CityLab. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.citylab.com/transportation/2018/02/traffics-mind-boggling-economic-toll/52488/>

- [12] Stromberg, J. (2015). The “fundamental rule” of traffic: building new roads just makes people drive more. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.vox.com/2014/10/23/6994159/traffic-roads-induced-demand>
- [13] Van Audenhove, F.-J., Rominger, G., Korn, A., Bettati, A., Steylemans, N., Zintel, M., ... Haon, S. (2018). *The Future of Mobility 3.0: Reinventing mobility in the era of disruption and creativity*. Retrieved from https://www.adlittle.com/futuremobilitylab/assets/file/180330_Arthur_D.Little_-_UITP_Future_of_Mobility_3_study.compressed.pdf
- [14] Viechnicki, P., Khuperkar, A., Dovey F, T., & Eggers, W. D. (2015). Smart mobility: Reducing congestion and fostering faster, greener, and cheaper transportation options. Retrieved September 2, 2019, from <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/public-sector/smart-mobility-trends.html>

3. ELECTRIFICACIÓN DE TRANSPORTE

Relativo a la Electrificación de Transporte se encuentran principalmente tres áreas de oportunidad en el desarrollo del estado del arte, las derivadas de las estrategias de manejo de energía, las derivadas de la electrónica de potencia para uso vehicular, y las derivadas del tren de potencia de lo vehiculos

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Convertidores de Corriente Directa a Directa (CD-CD)

En años recientes, las ciudades más importantes del mundo se han involucrado en el apoyo e incentivación del transporte eléctrico con el fin de establecer acciones definitivas en el combate de la contaminación. Aunado a lo anterior, se estima que la decisión de compra de vehículos de uso particular en los próximos años, residirá principalmente en el uso de tecnologías de propulsión limpias, seguras y eficientes. Por ejemplo, el INEGI estima que en los dos últimos años el uso de los Vehículos Eléctricos (VEs) en la Ciudad de México se ha incrementado en un 43 %.

La transición de las industrias automotriz y energética hacia una nueva era de movilidad es el gran evento tecnológico y social de la actualidad y, en él, se definirán los nuevos liderazgos científicos e industriales del mundo. Siguiendo esta tendencia, es decisivo contar con esfuerzos institucionales y nacionales para desarrollar tecnología de transportación que permitan garantizar la apertura de una brecha de dependencia

tecnológica con otros países y contar con precios asequibles. Se sabe que el precio de los VEs es alrededor de 30% mayor a los autos de combustión interna, y que el rendimiento energético del vehículo por distancia es regular y de recarga lenta de energía; además que, en contraste a los vehículos de combustión interna, su uso es aún limitado y considerado lujoso e inconveniente económicamente. Lo anterior es motivación para la investigación y desarrollo de transportación eléctrica eficiente, que permita garantizar la máxima autonomía del vehículo bajo condiciones de conducción reales.

En particular, una laguna tecnológica que causa que los VEs tengan un alto precio y bajo rendimiento energético, radica en dos aspectos: por un lado, la dependencia de la tecnología de baterías y supercapacitores proveniente de otros países, y por el otro, el diseño electrónico del vehículo que a diferencia de otras aplicaciones de electrónica de potencia tiene que conjuntar tanto aspectos de eficiencia relacionados con bajas pérdidas, así como bajo peso para que el consumo energético sea bajo. Esta dualidad eficiencia/peso es generalmente conflictiva, no pudiendo obtener una, sin detrimento de la otra. Sin embargo, el uso de estrategias electrónicas de alta densidad de potencia resuelve el conflicto del peso para aplicaciones de mediana potencia; mientras que el uso de estrategias de manejo de energía, que está aunado al aspecto de eficiencia energética, determina el desempeño del vehículo eléctrico y su rendimiento. El obtener un vehículo con este tipo de tecnologías permitirá obtener vehículos con un rendimiento energético mejorado por distancia en comparación de los actuales VEs.

Los convertidores de Corriente Directa a Corriente Directa (CD-CD) de Potencia son sistemas comunes utilizados para enlazar celdas de baterías, paquetes de baterías o supercapacitores con controladores de motores eléctricos en sistemas complejos de tracción para VEs. El uso de estos circuitos busca utilizar circuitos electrónicos específicos diseñados para operar eficiente y dinámicamente respecto a la actuación del vehículo con capacidades grandes de corriente y un bus mediano de voltaje de CD, [1] al [6]; sin embargo, el peso neto de estos circuitos en VEs, un factor implicado por utilizar topologías convencionales con grandes niveles de corriente, causa atención para emplear métodos que reduzcan el peso de los convertidores e incrementen su densidad gravimétrica de potencia, y por lo tanto, extender el rendimiento de energía del vehículo, [7] y [8]. Actualmente, los índices típicos de densidad de potencia de estos convertidores en vehículos eléctricos comerciales tienden a encontrarse alrededor de 3 kW/kg con capacidades de potencia de decenas de kW, [9] y [10]; aunque recientes realizaciones de investigación demuestran mayores densidades de potencia cercanas a 11 kW/kg, [11] al [14], debido al uso de estrategias de acoplamiento magnético y/o el uso de nuevos dispositivos de potencia para incrementar la densidad de potencia.

Una manera de mejorar la densidad de potencia de un convertidor de CD-CD es a través del acoplamiento magnético aprovechando el uso de varias ramas de conmutación

intercaladas, obteniéndose así una reducción del tamaño y peso de los componentes pasivos. Esta técnica fue originalmente planteada para convertidores multiniveles inversores y/o rectificadores a través de la eliminación armónica selectiva, [15] and [18], que típicamente envuelve el uso de un autotransformador, o inductores acoplados, junto con una configuración intercalada de celdas de conmutación, lo cual incrementa la frecuencia de rizo de los componentes pasivos por medio de una forma de onda de modo común, [19] and [23], por lo tanto, siendo aumentada la frecuencia efectiva de rizo de los inductores y capacitores de filtro de un convertidor de CD-CD. Por ejemplo, en [20] y [21], la frecuencia de rizo llega a ser el doble de la frecuencia de conmutación, de tal manera que el tamaño y peso de los componentes magnéticos es reducido; mientras que en [23] es descrito como las corrientes de rizo de los inductores pueden ser modificadas por el acoplamiento magnético.

Otra estrategia para mejorar la densidad de potencia de convertidores de CD-CD sin el intercalamiento de dispositivos, y conservando la topología del convertidor, es a través de la modificación del principio de operación del circuito. Por ejemplo, en [34], el patrón de conmutación del transistor de convertidor Buck-Boost convencional de 12 kW, para aplicaciones automotrices, fue modificado permitiendo una reducción notable de las pérdidas de energía y, por lo tanto, la frecuencia fundamental de conmutación fue incrementada desde 100 kHz hasta 150 kHz, permitiendo la reducción de los componentes pasivos y alcanzando una densidad volumétrica de potencia de 17.4 kW/dm³. Otros estudios son reportados en [35] a [37] en donde se revela que fueron examinadas técnicas de conmutación suave para reducir las pérdidas por conmutación de los transistores disminuyéndose el dV/dt de los dispositivos y, en consecuencia, los índices de densidad de potencia fueron mejorados.

En conclusión a este breve estado del arte, se puede decir que el uso de estrategias electrónicas de alta densidad de potencia, como lo es el estudio de intercalamiento de ramas conmutadas, acoplamiento e integración magnética y el uso de nuevos dispositivos semiconductores en convertidores de CD-CD, es una solución para incrementar su densidad de potencia y, por ende, mejorar el rendimiento energético de los futuros vehículos eléctricos.

ende, mejorar el rendimiento energético de los futuros vehículos eléctricos.

Referencias

[1] S. Tsotoulidis and A. Safacas, "Analysis of a drive system in a fuel cell and battery powered electric vehicle," *Int. J. Renewable Energy Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 31-42, 2011.

- [2] B. Eckardt, A. Hofmann, S. Zeltner, and M. Maerz, "Automotive powertrain DC/DC converter with 25kW/dm by using SiC diodes," in Proc. 4th Int. Conf. Integr. Power Syst., Naples, Italy, 2006.
- [3] S. Waffler and J. W. Kolar, "Comparative evaluation of soft-switching concepts for bi-directional buck+boost DC-DC converters," in Proc. IEEE Int. Power Electron. Conf., Sapporo, Japan, 2010, pp. 1856–1865.
- [4] M. Pavlovsky, G. Guidi, and A. Kawamura, "Assessment of coupled and independent phase designs of interleaved multiphase buck/boost DC-DC converter for EV power train," IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 6, pp. 2693–2703, Jun. 2014.
- [5] A. M. Omara, "Bidirectional interleaved DC/DC converter for electric vehicle application," in Proc. IEEE 11th Int. Forum Strategic Technol., Novosibirsk, Russia, 2016, pp. 100–105.
- [6] I. Sefa, S. Balci, N. Altin, and S. Ozdemir, "Comprehensive analysis of inductors for an interleaved buck converter," in Proc. IEEE Int. Power Electron. Motion Control Conf., Novi Sad, Serbia, 2012, pp. 1–7.
- [7] B.-G. You, J.-S. Kim, B.-K. Lee, G.-B. Choi, and D.-W. Yoo, "Optimization of powder core inductors of buck-boost converters for hybrid electric vehicles," in Proc. IEEE Vehicle Power Propulsion Conf., Dearborn, MI, USA, 2009, pp. 730–735.
- [8] H. Ramírez-Murillo et al., "An efficiency comparison of fuel-cell hybrid systems based on the versatile buck–boost converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 33, no. 2, pp. 1237–1246, Feb. 2018.
- [9] A. J. Forsyth and F. J. Bryan, "A power dense DC-DC converter for a small electric vehicle," in Proc. IEEE Int. Conf. Power Electron., Mach. Drives, Bristol, U.K., 2012, pp. 1–6.
- [10] Y. Shi, Y. Shi, R. Xie, L. Wang, and H. Li, "A 50 kW high power density paralleled-five-level PV inverter based on SiC T-type MOSFET modules," in Proc. IEEE Energy Conver. Congress Expo., Milwaukee, WI, USA, 2016, pp. 1–8.
- [11] M. Hirakawa et al., "High power DC/DC converter using extreme closecoupled inductors aimed for electric vehicles," in Proc. IEEE Int. Power Electron. Conf., Sapporo, Japan, 2010, pp. 2941–2948.
- [12] G. Calderon-Lopez, A. Forsyth, D. Gordon, and J. McIntosh, "Evaluation of SiC BJTs for high-power DC–DC converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 5, pp. 2474–2481, May 2014.
- [13] K. Yamaguchi, "Design and evaluation of SiC-based high power density inverter 70 kW/liter 50 kW/kg," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., Long Beach, CA, USA, 2016, pp. 3075–3079.

- [14] S. Yin et al., "Evaluation of power loss and efficiency for 50 kW SiC high power density converter," in Proc. Asian Conf. Energy, Power Transp. Electrification, Singapore, 2016, pp. 1–6.
- [15] A. Laka, J. A. Barrena, J. Chivite-Zabalza, and M. A. Rodríguez, "Parallelization of two three-phase converters by using coupled inductors built on a single magnetic core," *Przeegląd Elektrotechniczny*, vol. 2, no. 3, pp. 194–198, 2013.
- [16] C. Rudolph, "Hybrid drive system of an industrial truck using a three-phase DC–DC converter feeding ultra-capacitors," in Proc. IEEE Eur. Conf. Power Electron. Appl., Barcelona, Spain, 2009, pp. 1–10.
- [17] A. Sheir, M. Z. Youssef, and M. Orabi, "A novel bidirectional T-type multilevel inverter for electric vehicle applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 34, no. 7, pp. 6648–6658, Jul. 2019.
- [18] G. Waltrich and I. Barbi, "Three-phase cascaded multilevel inverter using power cells with two inverter legs in series," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 8, pp. 2605–2612, Aug. 2010.
- [19] Y. Suh, T. Kang, H. Park, B. Kang, and S. Kim, "Bi-directional power flow rapid charging system using coupled inductor for electric vehicle," in Proc. IEEE Energy Convers. Congress Expo., Atlanta, GA, USA, 2010, pp. 3387–3394.
- [20] M. Mu, F. C. Lee, Y. Jiao, and S. Lu, "Analysis and design of coupled inductor for interleaved multiphase three-level DC-DC converters," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., Charlotte, NC, USA, 2015, pp. 2999–3006.
- [21] D. O. Boillat and J. W. Kolar, "Modeling and experimental analysis of a coupled inductor employed in a high performance AC power source," in Proc. IEEE Int. Conf. Renewable Energy Res. Appl., Nagasaki, Japan, 2012, pp. 1–18.
- [22] J. Millán, P. Godignon, X. Perpiñà, A. Pérez-Tomás, and J. Rebollo, "A survey of wide bandgap power semiconductor devices," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 5, pp. 2155–2163, May 2014.
- [23] M. Jarabicoval, M. Prazenica1, and S. Kascak, "Interleaved DC/DC converter with coupled inductor—Theory and application," *Amer. J. Eng. Res.*, vol. 7, no. 5, pp. 80–88, 2018.
- [24] S. Dwari and L. Parsa, "An efficient high-step-up interleaved DC–DC converter with a common active clamp," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 1, pp. 66–78, Jan. 2011.
- [25] M. D. Seeman, "GaN devices in resonant LLC converters: System-level considerations," *IEEE Power Electron. Mag.*, vol. 2, no. 1, pp. 36–41, Mar. 2015.
- [26] J. Biela, M. Schweizer, S. Waffler, and J. W. Kolar, "SiC versus Si—evaluation of potentials for performance improvement of inverter and DC–DC converter systems by SiC power semiconductors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 7, pp. 2872–2882, Jul. 2011.

- [27] X. Huang, F. C. Lee, Q. Li, and W. Du, "High-frequency high-efficiency GaN-based interleaved CRM bidirectional buck/boost converter with inverse coupled inductor," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 6, pp. 4343–4352, Jun. 2016.
- [28] A. Taylor, J. Lu, L. Zhu, K. Bai, M. McAmmond, and A. Brown, "Comparison of SiC MOSFET-based and GaN HEMT-based high-efficiency high-power-density 7.2 /kW EV battery chargers," *IET Power Electronics*, vol. 11, no. 11, pp. 1849–1857, 2018.
- [29] D. Han, C. T. Morris, W. Lee, and B. Sarlioglu, "A case study on common mode electromagnetic interference characteristics of GaN HEMT and Si MOSFET power converters for EV/HEVs," *IEEE Trans. Transp. Electrific.*, vol. 3, no. 1, pp. 168–179, Mar. 2017.
- [30] A. Bashir-U-Din, "Characterisation of amorphous metal materials for high-frequency high-power-density transformer," in *Proc. Int. Conf. Syst. Eng.*, Sydney, NSW, Australia, 2018, pp. 1–8.
- [31] T. Tera, H. Taki, and T. Shimizu, "Loss reduction of laminated core inductor used in on-board charger for EVs," in *Proc. IEEE Int. Power Electron. Conf.*, Hiroshima, Asia, 2014, pp. 876–882.
- [32] Y. Wang, G. Calderon-Lopez, and A. J. Forsyth, "High-frequency gap losses in nanocrystalline cores," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 6, pp. 4683–4690, Jun. 2017.
- [33] H. Kosai, Z. Turgut, T. Bixel, and J. Scofield, "Performance comparison of finemet and metglas tape cores under non-sinusoidal waveforms with DC bias," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 52, no. 7, Jul. 2016, Art. no. 8400704. [34] S. Waffler and J. W. Kolar, "A novel low-loss modulation strategy for high-power bi-directional buck+boost converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 6, pp. 1589–1599, Jun. 2009.
- [35] Z. Xing, X. Ruan, H. You, X. Yang, D. Yao, and C. Yuan, "Soft-switching operation of isolated modular DC/DC converters for application in HVDC grids," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 4, pp. 2753–2766, Apr. 2016.
- [36] G. Ortiz, D. Bortis, J. Biela, and J. W. Kolar, "Optimal design of a 3.5-kV/11-kW DC–DC converter for charging capacitor banks of power modulators," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 38, no. 10, pp. 2565–2573, Oct. 2010.
- [37] J. Zhang, J. Lai, R. Kim, and W. Yu, "High-power density design of a soft-switching high-power bidirectional DC–DC converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 4, pp. 1145–1153, Jul. 2007.

Convertidores de Corriente Alterna a Directa (CD-CD)

Los convertidores de corriente alterna a directa se usan principalmente para la carga de baterías. La carga de baterías es esencial para que el uso de esta transportación eléctrica sea más amplio. Es tal el relieve de la carga ultrarrápida de baterías que una gama de corporaciones y gobiernos líderes están invirtiendo en grandes proyectos e iniciativas para resolver el problema. En **Europa** se ensayan ahora tres redes **de carga** ultrarrápida para **coches eléctricos**; **MEGA-E** (del corporativo energético Allego), Ionity (bajo patrocinio de BMW, Mercedes, Ford y Volkswagen), y Ultra-E (de Audi, Magna, Renault, **Hubject** y otros). Las tres iniciativas tienen soporte de fondos de investigación de la Unión Europea. Tesla invierte fuertemente en la meta de reducir a entre 5 y 10 minutos la carga de batería de sus vehículos Modelo S –de las 5 horas promedio que actualmente toma su carga

Sin embargo *existen dos complicaciones que dificultan la carga rápida de baterías, por un lado, la dependencia del tiempo de carga con la temperatura y por el otro, la disminución del tiempo de vida cuando las baterías son sujetas a altas corrientes constantes*. En particular las bajas temperaturas representan una verdadera barrera para la carga debido a la formación incrustaciones o depósitos (Lithium plating), representando además un riesgo a la seguridad. Según lo establecido por [6], el Nissan Leaf, se puede cargar al 80% en 30 minutos a 25 °C pero le toma más de 90 minutos a bajas temperaturas. Por otro lado, el calor generado durante la carga rápida debido al calentamiento resistivo a menudo es difícil de eliminar de manera uniforme y eficiente, lo que lleva a problemas de degradación acelerada y de seguridad.

La carga convencional de baterías de litio típicamente está constituida de dos etapas. Primero la batería es cargada a corriente constante hasta que el voltaje llega a un valor máximo. A este proceso le sigue uno de carga a voltaje constante hasta que la corriente cae alrededor de un 3%. Durante la primera etapa (de corriente constante), la batería se carga en alrededor del 88% de su capacidad, típicamente en una tercera parte del tiempo total de carga; mientras que en la segunda etapa (de voltaje constante), se termina de cargar en 2/3 partes del tiempo. Es esta última etapa la que extiende mucho los tiempos de carga. El uso de altos voltajes o de altas densidades de corrientes, puede considerarse como una solución a la disminución del tiempo de carga, sin embargo resulta en una disminución del tiempo de vida, debido al incremento de la resistencia interna debida a la formación de litio metálico, cuya tasa de producción es proporcional a la densidad de corriente.

En particular, en el proceso de carga convencional, la concentración de litio incrementa en la interface de grafito/ electrolito sólido, resultando en la saturación después de cierto tiempo de carga a corriente constante. Lo anterior requiere cambiar de modo de operación hacia un modo de voltaje constante donde las densidades de corriente

disminuyen sensiblemente, pero que impactan desfavorablemente en el proceso de carga. Una estrategia que se ha propuesto para mejorar este proceso, es el uso inicial de una carga lenta ($\leq 0.1 C$) lo que produce un aumento del voltaje. Luego, se aplica una corriente constante ($\geq 0.2 C$ y $\leq 1 C$), para que cuando se alcance un nivel de voltaje predeterminado (suficientemente grande), se cambie al modo de carga de voltaje constante. La corriente disminuye en este modo, pero el estado de carga (SoC por sus siglas en inglés) continúa creciendo. Aunque esta estrategia ha mostrado ventajas, sigue teniendo tiempos de carga significativos.

Con el fin de combatir este problema se ha propuesto el uso de carga pulsada. Este tipo de carga induce un periodo de “descanso” en la batería que permite que las reacciones electroquímicas se estabilicen antes de la próxima carga. Este proceso de relajación ha mostrado tener ventajas en la carga de baterías entre ellas, que se inhibe el crecimiento de dendritas, que hay una mejor aceptación de la carga, así como una capacidad de desvanecimiento más lenta y velocidades de carga más rápidas. Sin embargo, en contraste al régimen de carga constante, el diseño de los circuitos electrónicos para la carga es más complicado y los problemas de estabilidad resultado de la excitación de las inductancias parásitas por el tren de pulsos no han sido estudiados completamente, quedando muchas preguntas sin responder cuando se manejan grandes arreglos de baterías (altas potencias).

Por otro lado, ***existe otra complicación relativa al uso de las baterías en la transportación, que está relacionada al uso***, pues aunque se puede elegir el protocolo de carga, el de descarga depende de las costumbres de manejo (patrón de manejo) y de la topología del tren de potencia (*i.e.* el uso conjunto de baterías con otras formas de almacenamiento y conversión de la energía como son súper capacitores, convertidores, motores de alto o bajo voltaje, celdas de combustible, entre otros), lo que puede tener implicaciones también sobre el tiempo de vida de la batería y conforme se forman dendritas y se concreta el así llamado “thermal runaway”, también influirá en el tiempo de carga. Debido a lo anterior, los protocolos de carga también deberían incluir recomendaciones o guías para el diseño y la operación del tren motriz, con el fin de prolongar lo más posible la vida y disminuir el tiempo de carga de las baterías. En otras palabras, los protocolos de carga, deberían de ser inclusivos sobre la operación sin embargo, estos protocolos requerirían de otras disciplinas además de las relacionadas con la de materiales y electroquímica, por lo que tradicionalmente se resuelven de manera separada.

En lo general, las complicaciones de la carga de baterías a diferentes niveles puede observarse en la siguiente figura, donde es posible apreciar que mientras crece el tamaño del arreglo, los problemas de operación se anidan, desde los presentes a niveles microscópicos hasta las complicaciones referentes al manejo de altas potencias

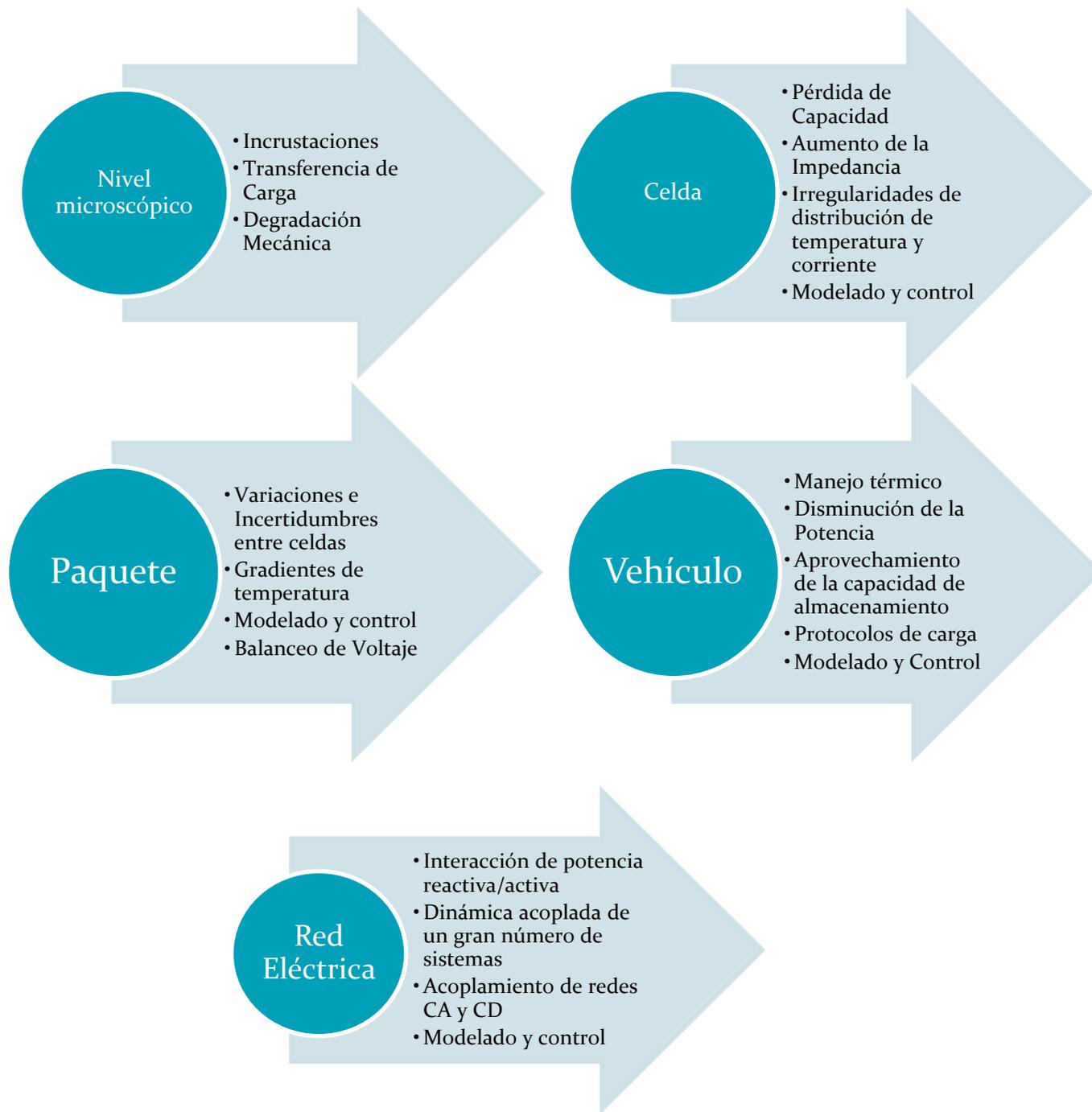


Fig 3.1. Problemas asociados a la carga de baterías en relación al tamaño o nivel del sistema.

Aún más, *las aproximaciones al tema de carga rápida de baterías se han abordado tradicionalmente desde dos puntos de vista: Primero, desde ópticas unidisciplinarias*, lo que ha repercutido en algunas ocasiones en una aproximación empírica o idealizada al tema. Por ejemplo, se aborda la carga sin un análisis óptimo de carga, sin un análisis dinámico o matemático que permita sistematizar el uso o la operación de la carga. *Segundo, en la gran mayoría de las investigaciones se adopta*

un punto de vista aislado, *i.e.* en donde se estudia la carga de baterías pero sin un contexto que permita resolver de fondo un problema de manera integral (en este caso, la transportación eléctrica). Por ejemplo, no se consideran metas concretas de la capacidad y tiempo de carga de energía para las baterías de la aplicación vehicular cuando se las estudia desde un punto de vista electroquímico, el diseño de la electrónica de potencia generalmente aísla el problema, viendo la dinámica de la batería como una caja negra, desestimando los efectos electroquímicos y químicos, así como algunos efectos dinámicos del uso de altas densidades de corriente. Esto es la sobresimplificación, el aislamiento y el trato de carga de baterías visto de una manera demasiado general, dista de brindar soluciones efectivas para aplicaciones específicas. Dada la importancia de la transportación eléctrica, es esencial abordarla de una manera integral, en la que la aplicación o sistema macroscópico defina las particularidades de operación, las metas de desarrollo científico y/o tecnológico y que en este contexto se estudie hacia “atrás”, hacia niveles más pequeños de integración.

Enfoque de Electrónica de Potencia

En 2007 se empezaron a reportar los primeros prototipos de sistema de carga de pulso de frecuencia variable que usan algoritmos para detectar y rastrear la frecuencia de carga óptima, con el fin de mejorar la respuesta de carga de la batería. En [15] se diseña e implementa un prototipo del sistema de carga de pulso de frecuencia variable para una batería de iones de litio de 600 mAh. En comparación con el sistema estándar de carga de corriente constante y voltaje constante, la velocidad de carga del prototipo se mejora por encima del 24%, los autores reportan haber mejorado el tiempo de carga por encima del 10% en comparación con el sistema de carga de pulso de frecuencia fija convencional. Sin embargo, observe que el tiempo de carga es significativamente mayor al reportado previamente en experimentos de laboratorio con fuentes pulsantes.

Para 2008 [13] se propone un sistema de carga que consta de 3 procesos 1) el proceso de carga de corriente a granel; 2) de carga de corriente pulsada; y 3) de carga de flotación por pulsos, el sistema propuesto se le denomina circuito de fase bloqueada por bombeo de corriente (current-pumped phase-locked loop CPLL) y es una modificación al ya propuesto pero usa un amplificador de corriente (CA), un amplificador de voltaje (VA), junto con una resistencia supresora de ondas R_r , un condensador supresor de ondas C_r , unida a la arquitectura ya usada de control de oscilación de voltaje (voltage control oscillator, VCO). Los autores implementan su diseño en una batería de iones de litio de 700 mAh. En comparación con el cargador de batería convencional con bloqueo de fase, la capacidad disponible de la batería y la eficiencia de carga del CPBC propuesto se mejoran en aproximadamente un 6,9% y un 1,5%, respectivamente.

Para 2013, se empiezan a analizar otras maneras de inducir el “descanso” de las celdas de la batería, desde un punto de vista de electrónica de potencia mediante el uso de corriente ondulada, debido a que es relativamente fácil de obtener usando estos circuitos. El análisis de la impedancia de CA se realiza para determinar la frecuencia de

carga óptima. Los experimentos de [12] indican que esta estrategia puede lograr el rendimiento de carga óptimo disminuyendo la frecuencia. En comparación con la estrategia convencional de carga de voltaje constante de corriente constante, el tiempo de carga, la eficiencia de carga, la temperatura de aumento máxima y la vida útil de la batería de iones de litio se mejoran en aproximadamente un 17%, 1.9%, 45.8% y 16.1 %, respectivamente. Esto es, la estrategia no resulta tan buena como la pulsada en términos de la eficiencia de carga y la vida de las baterías.

Sorprendentemente, la adopción de carga pulsante no ha sido del todo explorada en electrónica de potencia, en particular se observa que los trabajos reportados se enfocan al diseño del circuito y a la atenuación de oscilaciones, esencialmente debido a los efectos desestabilizantes inducidos por la carga pulsante. En particular la carga ultrarrápida de baterías de litio en electrónica de potencia se ha enfocado en aumentar la potencia de carga de manera independiente de los efectos adversos ya conocidos en la vida y la capacidad de las baterías.

Existen en la literatura varios circuitos electrónicos enfocados a la carga de baterías ultrarrápida que usan convertidores de alta potencia de múltiples niveles que proveen altas corrientes y voltajes constantes. En electrónica de potencia existen esencialmente dos estrategias que se han adoptado para la carga de baterías, las que usan infraestructura de corriente alterna (CA) y las que usan corriente directa (CD). La infraestructura de corriente directa se está explorando fuertemente en el área de electrónica de potencia, debido a la necesidad de incluir energías renovables de esta naturaleza, hidrógeno/electrolizadores, energía solar, entre otras. Los esquemas de carga CD tienen además la ventaja de que es posible obtener velocidades de carga más rápidas.

La mayoría de los cargadores usan una potencia de carga de 50kW, Tesla fue el primero en introducir postes de carga de 120 kW, En 2017, Porsche propone estaciones de carga de 350kW, pero todavía no existe infraestructura que lo soporte. Esto se debe a que los paquetes de baterías de vehículos eléctricos de hoy en día normalmente tienen una potencia de 350 kW y una carga de mayor potencia requiere paquetes de mayor voltaje para evitar corrientes de carga extremadamente altas y limitar la generación de calor resistivo. En 2018, se probó un cargador de 450kW en dos vehículos de investigación en Baviera, Alemania.

Es importante señalar que aunque la tendencia en electrónica de potencia es la de aumentar la potencia de carga, no necesariamente se aborda el problema de carga rápida porque, como se discutió anteriormente, eso depende de muchos factores como la capacidad de la propia batería de aceptar la carga, la cual depende de la temperatura, la densidad de corriente etc. Aún más, cuando se habla de baterías comerciales es necesario tomar en cuenta otro factor, la potencia máxima de carga está limitada no sólo por el cargador sino también por el Sistema de gestión de batería (BMS). Por lo general, los vehículos eléctricos con paquetes de baterías más pequeños, como el Nissan LEAF, sólo pueden cargar a una potencia máxima de 50 kW, mientras que los vehículos equipados con paquetes más grandes aceptan niveles de potencia más altos. Esto se debe

al hecho de que la tasa de carga que las baterías utilizadas en los vehículos eléctricos pueden aceptar de forma segura todavía está limitada a aproximadamente 1 y 1.5 C.

Entre los protocolos de carga que han sido explorados en electrónica de potencia están:

1. Corriente constante - Voltaje constante (CC-VC),
2. Potencia constante - Voltaje constante ,
3. Corriente constante multi-etapa - Voltaje constante,
4. Carga pulsante
5. Carga sinusoidal
6. Carga de refuerzo (Boostcharging) con un Esquema CC-VC-CC-VC,
7. Perfil de corriente variable.

Los dos primeros tienen desventajas parecidas, las estrategias 3,7 y 6 están en exploración, y aunque 6 se ha visto que tiene un efecto reducido en el tiempo de vida bajo ciertas circunstancias, en las demás no está del todo claro. Las desventajas de la sinusoidal ya han sido discutidas. Sin embargo, lo que tienen en común las estrategias 3 a 7 es que todas tienen perfiles variantes en tiempo y con ello existe la posibilidad de excitar las inductancias parásitas de la batería y desestabilizar el sistema a altas frecuencias. Aún más, se espera que al aumentar la densidad de potencia el efecto desestabilizador sea más importante.

En lo referente al desarrollo de la infraestructura de carga ultrarrápida se han definido diferentes niveles de potencia asociada. Los llamados cargadores de CA de Nivel 1 y Nivel 2 sirven como interfaces entre las líneas de suministro de 120 V (Nivel 1) y 240 V (Nivel 2) y pueden entregar hasta 1.92 kW (Nivel 1) o 19,2 kW (Nivel 2) al vehículo.

Algunos de los cargadores rápidos de vehículos eléctricos están diseñados para conectarse a una fuente de alimentación trifásica con un voltaje de línea a línea de hasta 480 V, que generalmente no está disponible en instalaciones públicas. Por lo tanto, se utiliza un transformador de servicio para reducir el voltaje medio del sistema de distribución y proporcionar alimentación trifásica a un único cargador rápido de CD o a una estación de carga rápida de CD. El transformador de servicio agrega costos al sistema y generalmente complica la instalación. Un enfoque alternativo es usar un transformador de estado sólido (SST) para conectarse directamente a una línea de media tensión (directa), eliminando así la necesidad de un transformador reductor de frecuencia de red.

El enfoque basado en SST para la carga rápida de EV es beneficioso porque usa dispositivos semiconductores de potencia de banda ancha que hacen posible la operación a altas frecuencias y con ello se disminuye el tamaño y se pueden alcanzar eficiencias más grandes.

El tamaño reducido del sistema significa menores costos de instalación y más potencia disponible en la misma huella del sistema. Existen cargadores de corriente continua de una potencia de 50 kW y, más recientemente, de niveles de potencia de hasta 350 kW.

Un cargador de 50kW requiere una hora para cargar una cantidad de energía estándar, mientras que los de 350kW requieren de 10 minutos. Elevar la potencia de los cargadores, tiene implicaciones importantes en el diseño de la infraestructura ya que se requiere vigilar la seguridad de la instalación entre otras.

La mayor eficiencia energética del sistema puede conducir a una carga potencialmente más barata debido al ahorro de energía. Por ejemplo, aumentar la eficiencia del sistema en un 5% (del 92.5% a más del 97.5%) a un nivel de potencia de 1 MW significaría la reducción de las pérdidas de potencia de 75 a 25 kW. Suponiendo una utilización del 20% de la estación a plena potencia, esta mejora en la eficiencia dará como resultado un ahorro de 87.6 MWh en un año. Por supuesto, el ahorro sería mayor con una mayor tasa de utilización. La conexión directa a una línea de MV puede reducir aún más los costos de electricidad, ya que muchas empresas de servicios públicos ofrecen tarifas por tiempo de uso con hasta un 20% menos de cargos de demanda cuando la electricidad se compra en el lado de MV (servicio primario). Estos ahorros pueden ser considerables considerando que los cargos por demanda representan la mayor parte de los costos de electricidad.

Referencias

- [1] Jingxu Zheng, Qing Zhao, Tian Tang, Jiefu Yin, Calvin D. Quilty, Genesis D. Renderos, Xiaotun Liu, Yue Deng, Lei Wang, David C. Bock, Chernoy Jaye, Duhan Zhang, Esther S. Takeuchi, Kenneth J. Takeuchi, Amy C. Marschilok, Lynden A. Archer Reversible epitaxial electrodeposition of metals in battery anodes” Science, Vol. 366, Issue 6465, Nov 2019, pp. 645-648 DOI: 10.1126/science.aax6873
- [2] Xiao-Guang Yang, Teng Liu, Yue Gao, Shanhai Ge, Yongjun Leng, Donghai Wang, Chao-Yang Wang, Asymmetric Temperature Modulation for Extreme Fast Charging of Lithium-Ion Batteries, Joule, 2019, , ISSN 2542-4351, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.021>.
- [3] Y. Gao, X. Zhang, Q. Cheng, B. Guo and J. Yang, "Classification and Review of the Charging Strategies for Commercial Lithium-Ion Batteries," in IEEE Access, vol. 7, pp. 43511-43524, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906117
- [4] Asghar Aryanfar†Daniel Brooks‡Boris V. Merinov‡William A. Goddard, III‡Agustín J. Colussi*†Michael R. Hoffmann* “Dynamics of Lithium Dendrite Growth and Inhibition: Pulse Charging Experiments and Monte Carlo Calculations” J. Phys. Chem. Lett. 2014, 5, 10, 1721-1726. <https://doi.org/10.1021/jz500207a>
- [5] Huazhen Fang, Christopher Depcik, Vadim Lvovich, “Optimal pulse-modulated Lithium-ion battery charging: Algorithms and simulation”, Journal of Energy

Storage, Vol. 15, 2018, Pp 359-367, ISSN 2352-152X,
<https://doi.org/10.1016/j.est.2017.11.007>.

- [6] S. Srdic and S. Lukic, "Toward Extreme Fast Charging: Challenges and Opportunities in Directly Connecting to Medium-Voltage Line," in *IEEE Electrification Magazine*, vol. 7, no. 1, pp. 22-31, March 2019. doi: 10.1109/MELE.2018.2889547
- [7] J. M. Amanor-Boadu, A. Guiseppi-Elie and E. Sánchez-Sinencio, "Search for Optimal Pulse Charging Parameters for Li-Ion Polymer Batteries Using Taguchi Orthogonal Arrays," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 11, pp. 8982-8992, Nov. 2018. doi: 10.1109/TIE.2018.2807419
- [8] George Crabtree "The coming electric vehicle transformation A future electric transportation market will depend on battery innovation" *Perspectives* Vol 366 Issue 6464, pp 422-424, October 2019.
- [9] Xiao-Guang Yanga, Guangsheng Zhanga, Shanhai Gea, and Chao-Yang Wanga "Fast charging of lithium-ion batteries at all temperatures" *PNAS* vol. 115, no. 28, pp 7266-7271, 2018. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1807115115.
- [10] B. K. Purushothaman and U. Landauz. "Rapid Charging of Lithium-Ion Batteries Using Pulsed Currents A Theoretical Analysis" *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 153 no. 3 pp. A533-A542, 2006.
- [11] Jun Li, Edward Murphy, Jack Winnick, Paul A Kohl, "The effects of pulse charging on cycling characteristics of commercial lithium-ion batteries", *Journal of Power Sources*, Vol. 102, No. 1-2, 2001, pp 302-309, ISSN 0378-7753, [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00820-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00820-5).
- [12] L. Chen, S. Wu, D. Shieh and T. Chen, "Sinusoidal-Ripple-Current Charging Strategy and Optimal Charging Frequency Study for Li-Ion Batteries," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 1, pp. 88-97, Jan. 2013. <https://doi.org/10.1109/TIE.2012.2186106>
- [13] L. Chen, J. Chen, N. Chu and G. Han, "Current-Pumped Battery Charger," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 6, pp. 2482-2488, June 2008. doi: 10.1109/TIE.2008.921685
- [14] L.T. Lam, H. Ozgun, O.V. Lim, J.A. Hamilton, L.H. Vu, D.G. Vella, D.A.J. Rand, Pulsed-current charging of lead/acid batteries — a possible means for overcoming premature capacity loss?, *Journal of Power Sources*, Volume 53, Issue 2, 1995, pp 215-228, ISSN 0378-7753, [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(94\)01988-8](https://doi.org/10.1016/0378-7753(94)01988-8).
- [15] L. Chen, "A Design of an Optimal Battery Pulse Charge System by Frequency-Variied Technique," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 1, pp. 398-405, Feb. 2007. doi: 10.1109/TIE.2006.888796.

- [16] Zhu G, Zhao C, Huang J, He C, Zhang J, Chen S, Xu L, Yuan H, Zhang Q. Fast charging lithium batteries: recent progress and future prospects. *Small* 2019; vol15, no. 15 <https://doi.org/10.1002/sml.201805389>.
- [17] Liu Y, Zhu Y, Cui Y. Challenges and opportunities towards fast-charging battery materials. *Nature Energy* 2019; vol 4 no.7, pp 540-550. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0405-3>.
- [18] F. Naznin, "State of charge (SOC) governed fast charging method for lithium based batteries," in Proc. COMSOL Conf., Bangalore, 2013, pp. 1-7.
- [19] B. Lu, Y. Song, and J. Zhang, "Selection of charge methods for lithium ion batteries by considering diffusion induced stress and charge time," *J. Power Sources*, vol. 320, pp. 104-110, Apr. 2016.
- [20] A. Jokar, B. Rajabloo, M. Désilets, and M. Lacroix, "Review of simplified pseudo-two-dimensional models of lithium-ion batteries," *J. PowerSources*, vol. 327, pp. 44-55, Jul. 2016.
- [21] G. Kujundzic, Iles, J. Matusko, and M. Vasak, "Optimal charging of valve-regulated lead-acid batteries based on model predictive control," *Appl. Energy*, vol. 187, pp. 189-202, Nov. 2017.
- [22] C. Zou, C. Manzie, D. Nestic, and A. G. Kallapur, "Multi-time-scale observer design for state-of-charge and state-of-health of a lithium-ion battery," *J. Power Sources*, vol. 335, pp. 121-130, Dec. 2016.
- [23] Shen Weixiang, Vo Thanh Tu, Kapoor A. "Charging algorithms of lithium-ion batteries: an overview. In: 2012 7th IEEE conference on industrial electronics and applications (ICIEA). IEEE; 2012. p. 1567e72. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2012.6360973>.
- [24] Chen C, Shang F, Salameh M, Krishnamurthy M. Challenges and advancements in fast charging solutions for EVs: a technological review. In: 2018 IEEE transportation electrification conference and expo (ITEC). IEEE; 2018.p. 695-701. <https://doi.org/10>
- [25] Griselda Ivone Zamora Gomez "Efecto de la Topología del Tren de Potencia en la vida de las baterías", Tesis de Maestría, IPICYT, 2015.
- [26] Chen, B. and Midler, C. "The electric vehicle landscape in China: between institutional and market forces", *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 16, No. 3, pp.248-273.
- [27] GTD, Systems & Software Engineering, 2019: <https://www.gtd.es/es/blog/tesla-quiere-cargar-los-coches-electricos-en-cinco-minutos>)

ESTRATEGIAS DE MANEJO DE ENERGÍA

A diferencia de los vehículos convencionales, los vehículos híbridos y eléctricos (HEV y EV, respectivamente) son dispositivos más eficientes en términos de utilización de energía debido principalmente a tres características.

Primero, la eficiencia promedio del tanque a las ruedas (es decir, la eficiencia de conversión de energía química a mecánica) es mayor. Es decir, incluso en el caso de HEV, donde se utiliza un motor de combustión interna (ICE), la utilización de energía eléctrica de un sistema de almacenamiento de energía (ESS) conduce a un incremento de la eficiencia promedio total debido a la alta eficiencia de ESS .

La segunda característica es el frenado regenerativo. Cargar el ESS durante el proceso de frenado abre la posibilidad de reciclar la energía mecánica que en los vehículos convencionales se cae, aumentando aún más la eficiencia del vehículo.

Finalmente, la tercera característica es la división de potencia controlada entre las fuentes de energía. Al manipular dicha división de potencia, se puede tomar una decisión sobre cuánto combustible se consume. El uso más frecuente del ESS, la operación más eficiente del vehículo y la menor pérdida de energía.

Uno de los temas principales de este capítulo es proporcionar métodos y fundamentos teóricos sobre cómo realizar esta división de poder; en otras palabras, sobre cómo diseñar una estrategia de gestión energética (EMS). La mayor parte de las EMS existentes se centran esencialmente en reducir el consumo de combustible. La relevancia de este tema es particularmente importante una vez que se logra la etapa de diseño del vehículo, ya que cualquier ahorro de combustible o reducción de costos de operación relacionados con el suministro de combustible se debe principalmente a la decisión de división de potencia. Es decir, dadas las características mecánicas de un vehículo (es decir, diseño de geometría, resistencia al aire, fricción de neumáticos, etc.), nos preguntamos si cuál es una buena decisión de división de potencia para un ciclo de manejo dado.

Los sistemas de gestión de energía pueden clasificarse como (i) basados en la optimización y (ii) basados en heurística o reglas. Una ventaja de las estrategias basadas en la optimización es que su solución puede llamarse "mínima" (es decir, el consumo de combustible es mínimo). Además, cuentan con el respaldo teórico de resultados formales que permiten su aplicación en una variedad de vehículos; sin embargo, tienen la desventaja de que la solución puede ser difícil de encontrar y puede involucrar demasiados recursos de computación para aplicaciones en tiempo real. Dependiendo de la formulación del problema, la optimización sólo se puede realizar teniendo en cuenta la demanda de potencia instantánea (es decir, no se requiere conocimiento de la demanda futura) o puede ser óptima para toda la trayectoria del vehículo. Resolver el problema de optimización para toda la trayectoria del vehículo requiere el conocimiento del ciclo de conducción, pero en cambio, se pueden tener en cuenta las condiciones

terminales en el estado de carga (SOC) del ESS, lo que permite una operación ESS más conveniente.

Los enfoques heurísticos explotan la experiencia o el conocimiento a priori del diseñador. En general, son susceptibles de aplicarse en tiempo real porque su complejidad generalmente está vinculada a la etapa de diseño de la estrategia, en lugar de a su operación. Esta clasificación pertenece a aquellos basados en lógica difusa [1–3], redes neuronales (NNs) [4,5] y frecuencia (es decir, basada en la frecuencia de demanda de potencia) [6–8]; la mayoría de ellos requieren en algún lugar una descripción continua por partes de la división de potencia que depende de la experiencia o criterio del diseñador (condiciones del modo de conmutación). Muchas de las investigaciones realizadas sobre este tema se centran en proporcionar evidencia de funcionamiento, así como en proporcionar apoyo teórico a los criterios de diseño.

Una vez que se toma la decisión sobre qué fuente de energía se utilizará y en qué proporción, el siguiente paso es garantizar que la división de energía se realice como se esperaba. Para este fin, se utilizan unidades de control electrónico (ECU). En la industria automotriz, ECU es un término genérico para nombrar dispositivos de control y monitoreo. En general, se espera que una ECU reciba señales eléctricas de varios sensores que miden el estado del motor / motor / batería, y así sucesivamente. A partir de estas señales, el controlador genera señales eléctricas a los actuadores que determinan el suministro de combustible y la energía eléctrica entregada por el ESS. El EMS actúa como un generador de referencia de potencia, mientras que la ECU es el control de seguimiento. Vale la pena señalar que el control de seguimiento en la ECU también puede tener una estructura en cascada .

El diseño del sistema de energía es tan pertinente que mucha de la investigación actual mundial se centra en este tema, compitiendo a la fecha con temas como la inteligencia artificial o aprendizaje profundo.

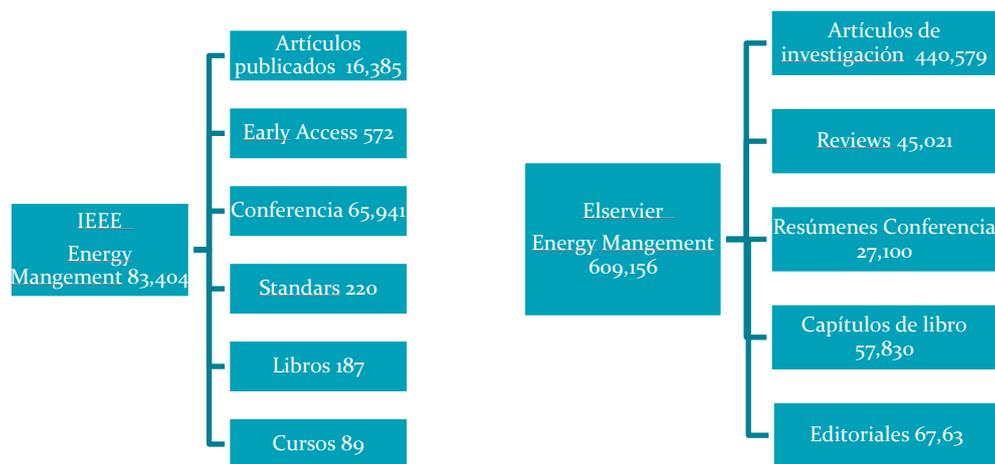


Figura 3.2 Resultados de búsqueda “Energy Management” en las bases de datos de IEEE y Elsevier respectivamente

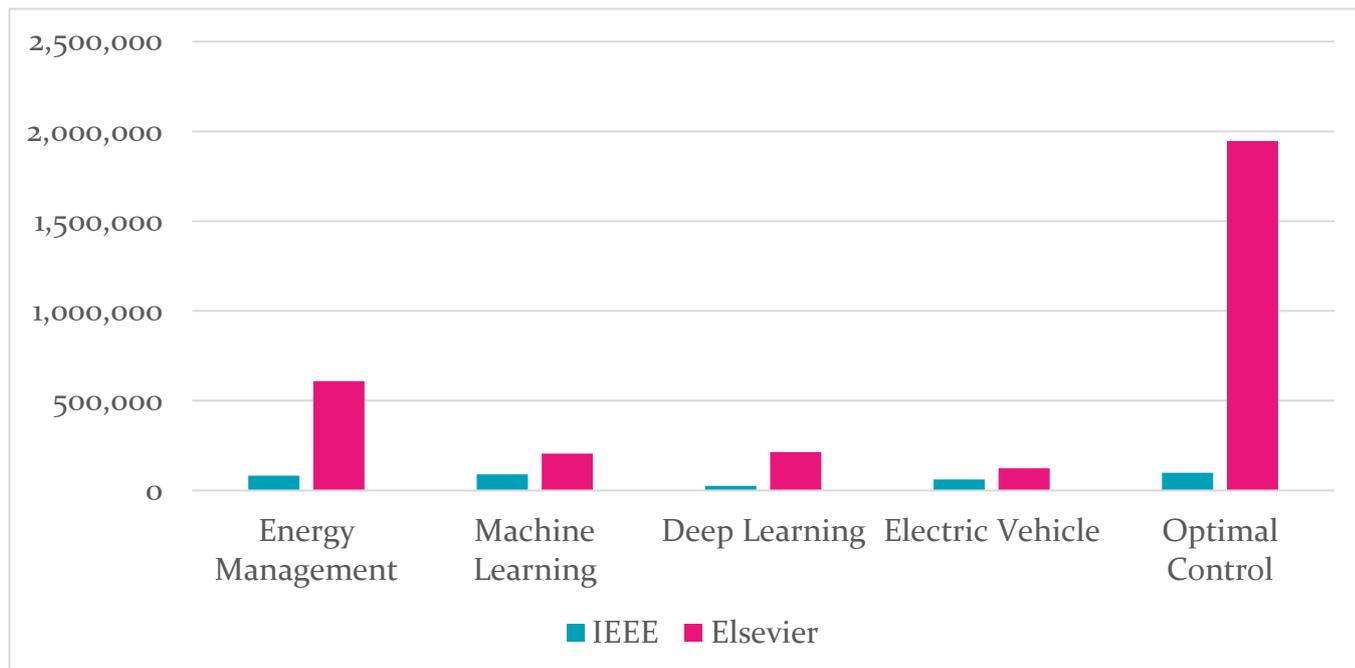


Figura 3.3 No de productos de investigación en diferente áreas, comparación de las bases de datos de IEEE y Elsevier

Problemas de gestión de energía: soluciones existentes

Como se indicó anteriormente, existen dos tendencias diferentes en el diseño de EMS, una se basa en la optimización y la otra se basa en reglas heurísticas. A continuación, realizaremos una breve revisión de algunos de los enfoques más relevantes. La intención no es ser vasta o completa, sino solo visitar las diferentes ideas propuestas para reducir el consumo de combustible y discutir cómo funcionan.

Como primer paso para presentar esta descripción, observe que el EMS para HEV y EV está enfocado en reducir el consumo de combustible; por lo tanto, dicho objetivo solo se puede lograr en los vehículos eléctricos si se usa una celda de combustible (FC) para abastecer parte de la demanda de energía; Estos vehículos también se denominan HEV de celdas de combustible (FCHEV) o vehículos de celdas de combustible. Para HEV o FCHEV, existen ideas similares que pueden usarse para el diseño de EMS. Por ejemplo, en HEV o FCHEV, el motor / FC puede verse obligado a operar en una región donde son más eficientes para mejorar la eficiencia general del vehículo. Dichas regiones pueden definirse a priori y pueden tenerse en cuenta utilizando (i) reglas heurísticas utilizando una descripción continua por partes de la división de potencia u (ii) optimización en un conjunto restringido. Otras consideraciones en la formulación del problema de administración de energía son: resistencia de la batería, longevidad FC, humedad FC y salubridad del ESS, entre las más importantes.

Entre las estrategias basadas en la optimización, vale la pena discutir lo siguiente:

Estrategias que consideran las restricciones de operación de ESS. Para el caso de FCHEV y HEV, el problema de minimización del consumo de combustible tiene una solución

trivial, es decir, un funcionamiento eléctrico completo. Sin embargo, si la idea es que el ICE o el FC es proporcionar la potencia principal del vehículo, y el ESS proporciona demandas de potencia transitorias o para estar activo en ciertas condiciones de par o velocidad, entonces el problema de minimización del consumo de combustible puede formularse de manera congruente usando restricciones en la potencia del motor / FC y el ESS SOC, así como también usando lo que es llamado un consumo de combustible equivalente del motor eléctrico [12]. La estrategia de consumo equivalente permite tener en cuenta tanto el consumo de combustible como el consumo de energía de las baterías en la función objetivo de minimización (OF), y se utiliza para reducir el consumo de energía ESS. Para este tipo de estrategias, generalmente, la inclusión de algunas restricciones de potencia / corriente FC debe considerarse para un funcionamiento adecuado de la celda. Por ejemplo, las demandas de alta corriente puestas en el FC conducen a inundaciones, mientras que las demandas de baja corriente conducen a la sequedad de la membrana FC, y dicho comportamiento puede evitarse usando restricciones de demanda de potencia mínima y máxima. El conjunto donde se cumplen todas las restricciones se denomina conjunto factible y la solución debe pertenecer a él. Se pueden encontrar ejemplos de este tipo de EMS [13-15].

Estrategias que consideran la eficiencia FC / motor. En este caso, las restricciones del problema de optimización se corrigen de acuerdo con una eficiencia máxima de FC / motor [16]. Para el caso de FC, la eficiencia depende de la carga actual, siendo alta a baja carga de corriente. En estas condiciones, las pérdidas de corriente están relacionadas con la energía requerida para inicializar la reacción de oxidación-reducción (zona de circuito abierto). La estrategia también puede tener en cuenta las restricciones sobre la tasa de cambio de la potencia suministrada por FC que garantiza que el FC no se inunde ni se seque. Dichas restricciones también son importantes porque la dinámica de FC limita la tasa de potencia entregada, y el FC no puede satisfacer las demandas de potencia rápida. Aunque es conveniente en términos de economía de combustible (FE), el funcionamiento de la celda en la zona de celda de máxima eficiencia, sobredimensiona el tamaño de la celda y su generación de energía no se explota por completo [17].

Entre los EMS basados en heurística, se pueden mencionar los siguientes:

Descripción continua por partes de la división de potencia. Esta es probablemente la estrategia heurística más simple. En este caso, la división de potencia se asigna directamente con el uso de una función continua por partes, que se inspira básicamente en el criterio del diseñador. Dicha función puede depender del ESS SOC y / o SOH (estado de salud), FC power, etc. La definición de esta función está directamente relacionada con el desempeño de la estrategia y, por lo tanto, es el tema de muchas investigaciones.

División de potencia basada en frecuencia. Este es un caso particular del tipo de estrategias anteriores; sin embargo, en este caso, la división de potencia se define por las características de frecuencia de la demanda de potencia. Como se indicó anteriormente, FC no puede cumplir con las demandas de potencia rápida; este es también el caso de motores pequeños; por lo tanto, se usa el ESS. La partición de frecuencia es el resultado del análisis de la respuesta de frecuencia de las fuentes de energía. Por lo general, los

supercondensadores (SC) se usan para cambios de potencia de alta frecuencia, las baterías se usan para demandas de potencia media y los motores FC / se usan para demandas de baja frecuencia. El SOC del ESS debe tenerse en cuenta en esta partición, ya que, por ejemplo, el ESS agotado no puede satisfacer la demanda de energía y la partición basada en frecuencia no tiene sentido.

Fuzzy (Difuso). El primer paso en el diseño de esta estrategia es realizar lo que se llama fuzziificación. Es decir, según el conocimiento o el criterio del diseñador, los conceptos difusos o las calificaciones se traducen en conjuntos. Una vez que se definen estos conjuntos, el siguiente paso es asignar funciones de membresía a cada concepto; estas funciones de membresía pueden superponerse, lo que puede asignar un valor verdadero a un punto que pertenece a dos o más funciones de membresía. Al aplicar reglas difusas (lógica difusa), se infiere qué acción o estrategia aplica (que puede ser más de una). El objetivo es definir un conjunto de decisiones basadas en, por ejemplo, el SOC del ESS (por ejemplo, (i) Alto SOC: el FC / motor funciona alrededor de su zona de funcionamiento óptima; (ii) bajo SOC: el FC / motor funciona más alto que su punto de funcionamiento óptimo). El procedimiento de defuzziificación asignará un valor determinista del poder compartido, para fines de implementación. La definición de funciones de membresía se puede modificar para obtener diferentes resultados del EMS. Por ejemplo, en la Referencia 3, tales funciones se manipulan para abordar una estrategia fuera de línea basada en la optimización. Los autores muestran que esta estrategia muestra un comportamiento cercano a la estrategia optimizada fuera de línea, incluso si no hay una acción predictiva del ciclo de conducción disponible.

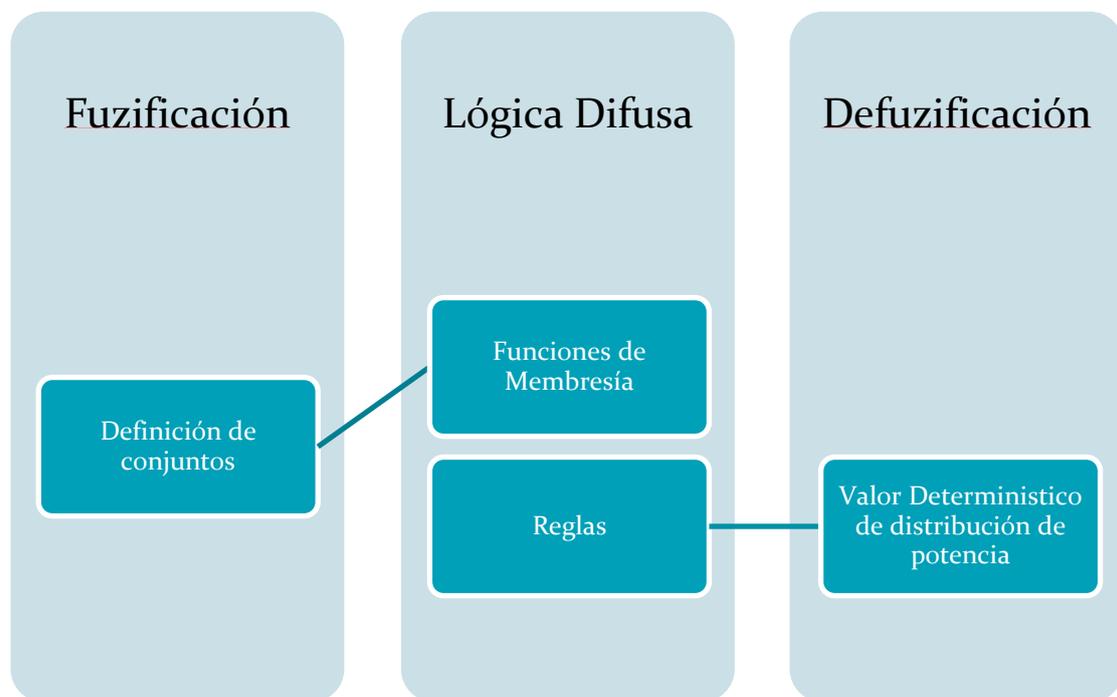


Figura 3.4 Etapas de sistemas de gestión de energía basadas en lógica difusa

NN. El enfoque de red neuronal tiene la ventaja de que puede tratar con sistemas inciertos y no estructurados. Se parte de un modelo de caja negra en el que varias entradas están conectadas a una capa de celdas. Una celda está constituida básicamente por un sistema dinámico de bajo orden, que a su vez, puede interconectarse a más celdas. Al manipular los parámetros de la celda, el número de capas y las interconexiones, se puede manipular la salida del NN (entrenamiento). Esta manipulación se puede realizar mediante prueba y error (según la experiencia del diseñador), o utilizando una retroalimentación del error de desviación de una respuesta deseada. En el último caso, para algunos NN, se puede proporcionar una prueba de convergencia, y tales características los hacen muy valiosos para los científicos de control. Para el diseño de EMS, el NN se puede usar (a) para aprender de una estrategia óptima para emularlo o (b) aprender sobre el ciclo de manejo para usarlo en una estrategia óptima, entre otros usos.

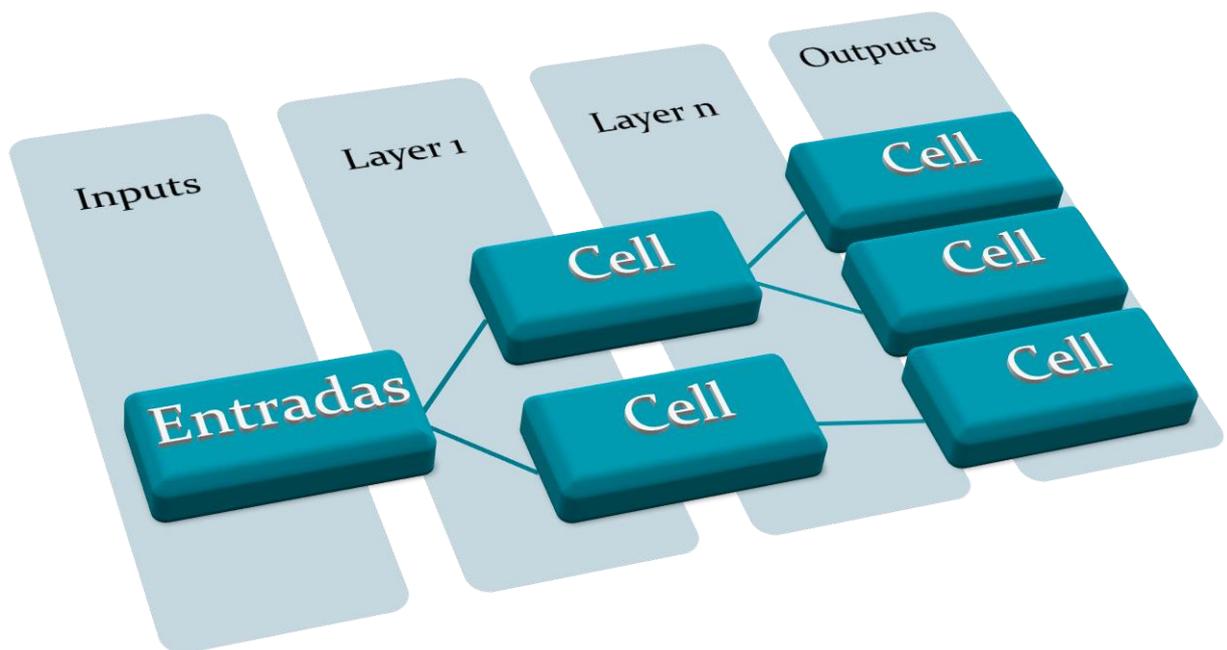


Figura 3.5 Etapas de sistemas de gestión de energía basadas en redes Neuronales (NN)

Referencias

- [1] Blunier B., Simoies M.G. and Miraoui A. Fuzzy logic controller development of a hybrid fuel cell-battery auxiliary power unit for remote applications. In 2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), Sao Paulo, Brazil, pp. 1-6, 2010.

- [2] Ferreira A.A., Pomilio J.A., Spiazzi G. and de Araujo Silva L. Energy management fuzzy logic supervisory for electric vehicle power supplies system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(1):107–115, 2008.
- [3] Ravey A., Blunier B. and Miraoui A. Control strategies for fuel-cell-based hybrid electric vehicles: From offline to online and experimental results. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(6):2452–2457, 2012.
- [4] Murphey Y.L., Park J., Chen Z., Kuang M.L., Masrur M.A. and Phillips A.M. Intelligent hybrid vehicle power control—Part I: Machine learning of optimal vehicle power. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(8):3519–3530, 2012.
- [5] Murphey Y.L., Park, J., Kiliaris L., Kuang M.L., Masrur M.A., Phillips A.M. and Wang Q. Intelligent hybrid vehicle power control—Part II: Online intelligent energy management. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(1):69–79, 2013.
- [6] Chunting C., Masrur A. and Daniszewski D. Wavelet-transform-based power management of hybrid vehicles with multiple on-board energy sources including fuel cell, battery and ultracapacitor. *Journal of Power Sources*, 185(2), 1533–1543, 2008.
- [7] Florescu A., Bacha S., Munteanu I. and Bratcu A.I. Frequency-separation-based energy management control strategy of power flows within electric vehicles using ultracapacitors. In *IECON 2012—38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 2957–2964. IEEE Press, Quebec, QC, Canada, 2012.
- [8] Erdinc O., Vural B. and Uzunoglu M. A wavelet-fuzzy logic based energy management strategy for a fuel cell/battery/ultra-capacitor hybrid vehicular power system. *Journal of Power Sources*, 194(1), 369–380, 2009.
- [9] Archambeault B.R. *PCB Design for Real-World EMI Control*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, 2002.
- [10] Ott H.W. *Electromagnetic Compatibility Engineering*. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2009.
- [11] Montrose M.I. *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers*. IEEE Press Series on Electronics Technology, New York, NY, USA, 2000.
- [12] Paganelli G., Delprat S., Guerra T.-M., Rimaux J. and Santin J. J. Equivalent consumption minimization strategy for parallel hybrid powertrains. In *IEEE 55th Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002, Vol. 4*, pp. 2076–2081. IEEE Press, Birmingham Al, 2002.
- [13] Lin C.C., Peng H., Grizzle J.W. and Jun M.K. Power management strategy for a parallel hybrid electric truck. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 11:839–849, 2003.
- [14] Bo Geng, Mills J.K. and Sun D. Energy management control of microturbine-powered plug-in hybrid electric vehicles using the telemetry equivalent consumption minimization strategy. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(9):4238–4248, 2011.

- [15] Bernard J., Delprat S., Guerra T.M. and Buchi F.N. Fuel efficient power management strategy for fuel cell hybrid powertrains. *Control Engineering Practice*, 18:408–417, 2010.
- [16] Feroldi D., Serra M. and Riera J. Energy management strategies based on efficiency map for fuel cell hybrid vehicles. *Journal of Power Sources*, 190(2):387–401, 2009.
- [17] Feroldi D., Serra M. and Riera J. Design and analysis of fuel-cell hybrid systems oriented to automotive applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(9):4720–4729, 2009.

Manejo de Energía en vehículos-redes

En años recientes, algunas de las más importantes ciudades del mundo se han involucrado en el apoyo e incentivación del transporte eléctrico, por lo que brindan facilidades para la carga de vehículos en locaciones estratégicas. Siguiendo esa tendencia, se ha propuesto en la literatura el uso de vehículos híbridos eléctricos con celdas de combustible (Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles FCHEV) como dispositivos de generación de energía en los hogares y en algunas otras instalaciones de pequeña/mediana potencia con el fin de obtener una producción de energía eléctrica distribuída y que prescindiera de los procesos de generación remota y de distribución por la red eléctrica convencional. La idea es entonces, usar la celda de combustible del vehículo eléctrico para que, junto con una infraestructura adicional de carga y generación de energía (solar o eólica), constituya una red local de generación/consumo de energía eléctrica más eficiente, mientras se aprovecha la movilidad de una fuente sustentable de energía: la celda de combustible contenida en el tren de potencia del vehículo.

Las principales limitaciones que surgen del uso de vehículos eléctricos como suministro de energía en los hogares y otras aplicaciones, son las concernientes con la sustentabilidad del consumo de combustible hidrógeno, así como la complejidad técnica que surge de la administración y control de la energía del vehículo. En otras palabras, por un lado, el uso de celdas de combustible garantiza la provisión de energía eléctrica inclusive en condiciones extremas de operación (sin sol, sin viento); sin embargo, tal operación es cara en términos de consumo de combustible. Usualmente en este esquema, el sol/viento se usan para almacenar energía o para satisfacer de manera transitoria los requerimientos de la carga eléctrica de la red, lo que permite al hidrógeno, convertirse en un sistema de almacenamiento de energía que puede ser usado a demanda.

Finalmente, la operación del círculo virtuoso consumo de hidrógeno/economía se garantiza por el uso de controladores jerárquicos que monitorean y controlan el flujo de energía entre las fuentes de manera que se disminuya, hasta un mínimo, los costos de operación de la micro-red y se operen de manera segura y eficiente las diferentes fuentes. Esto es, para proveer de sustentabilidad al uso de vehículos eléctricos como fuentes de energía distribuída se requiere contar con controladores adecuados que garanticen su viabilidad.

Existen en la literatura muchos esfuerzos encaminados al diseño de estrategias de manejo de energía para micro-redes solar/eólica con celdas de combustible. [1] propone cuatro estrategias de control de energía para redes autosustentables con celdas de combustible. Se desarrollan los conceptos de seguimiento de carga y seguimiento del punto de máxima eficiencia para el control de la tasa de alimentación de combustible.

En las redes estudiadas, se usan celdas de combustible comerciales, así como celdas fotovoltaicas y turbinas de viento de pequeña escala como fuentes renovables de energía, donde el exceso de energía se almacena en tanques de hidrógeno via el uso de electrolizadores. Además se usan convertidores de potencia directa con un sólo inversor monofásico como elementos administradores de energía. La estrategia propuesta en [1] hace el seguimiento de la carga al mismo tiempo que garantiza un nivel de carga en el sistema de almacenamiento de energía, lo que permite reducir el tamaño de la batería al ser conectada directamente al bus de corriente directa (CD).

Un arreglo de ultracapacitores compensa de manera dinámica el balance de potencia del bus, via un convertidor de potencia bidireccional buck-boost. El consumo de la celda de combustible se controla via la tasa de inyección de combustible, la cual es modificada para maximizar la relación entre el combustible producido y el consumido por ciclo de carga.

[2] estudia la viabilidad de estaciones de telecomunicaciones alimentadas con celdas de combustible, así como una micro-red constiuída por: baterías, electrolizadores y paneles fotovoltaicos. Los autores colectan datos de operación de las estaciones durante todo un año y comparan el desempeño de la estación con otras que usan generadores diésel. Los resultados muestran que el sistema de potencia híbrido constituido es competitivo en términos de eficiencia energética y de consumo de combustible fósil. Sin embargo, también observan que el tamaño del sistema de abastecimiento y la estrategia de manejo de energía es crucial para garantizar de manera contundente del viabilidad. [3] integra electrolizadores a una celda de combustible, baterías y fuentes renovables de energía (solar y eólica) para abastecer una estación remota de telecomunicaciones y evalúa su desempeño para tres diferentes locaciones. Los autores encuentran que la inclusión de la celda de combustible permite al sistema tener un estado de carga más grande en las baterías y previene el sobredimensionamiento del sistema de abastecimiento del generador solar y eólico. [3] reporta haber reducido la capacidad de la batería entre un 54-77%, así como la cantidad de energía renovable no utilizada en un 55-79%.

Referencias

- [1] N. Bizon, M. Oproescu, M. Raceanu, Efficient energy control strategies for a standalone renewable/fuel cell hybrid power source, *Energy Conversion and Management* 90 (2015) 93–110.
- [2] S. Cordiner, V. Mulone, A. Giordani, M. Savino, G. Tomarchio, T. Malkow, G. Tsoitridis, A. Pilenga, M. Karlsen, J. Jensen, Fuel cell based hybrid renewable energy systems for off-grid telecom stations: Data analysis from on field demonstration tests, *Applied Energy* 192.

- [3] D. Scamman, M. Newborough, Bustamante, H., Hybrid hydrogen-battery systems for renewable off-grid telecom power, *Int. J. Hydrogen energy* 40.
- [4] L. H. Koh, P. Wang, F. H. Choo, T. K. J., Z. Gao, H. B. Puttgen, Operational adequacy studies of a pv-based and energy storage standalone microgrid, *IEEE Transactions on Power Systems* 30 (2) (2015) 892–900.
- [5] S. Malo, R. Grino, Design, construction, and control of a stand-alone energy-conditioning system for pem-type fuel cells, *IEEE Transactions on Power Electronics* 25 (10) (2010) 2496–2506.

TREN DE POTENCIA

Del estudio de la literatura llama la atención que los estudios de carga de baterías se han hecho sin tomar en cuenta la aplicación final, en este caso la transportación eléctrica. ***No queda claro cómo la topología del tren de potencia afecta la vida de las baterías, y cómo se debe diseñar éste para alargar su vida.*** Lo anterior es relevante porque, como ya se estableció, se puede escoger el patrón de carga pero no el de descarga.

El diseño del sistema de tracción tiene relevancia porque éste define no sólo la dinámica de la transferencia de energía desde las baterías y con ello su vida útil, sino también la utilización de la energía de las baterías. En [1] se analiza mediante simulaciones numéricas la dependencia de la topología del tren de potencia de vehículos eléctricos en relación a la vida de las baterías de litio. Se establece que aunque existen ventajas en la inclusión de ultracapacitores para filtrar las dinámicas de alta frecuencia que pueden tener impacto en la vida útil, también hacen que la energía que está en las baterías se use menos eficientemente para mover el vehículo. Lo anterior es todavía peor cuando se toma en cuenta el voltaje del bus de CD, que al aumentar, también aumenta considerablemente la cantidad de carga almacenada de las baterías que no se utiliza. Siendo la tendencia en electrónica de potencia la de aumentar el voltaje del bus de CD hasta alcanzar cientos de volts para poder disminuir las corrientes y con ello el peso de los dispositivos electrónicos, es necesario establecer al menos lineamientos para aprovechar de mejor manera la densidad de energía de las baterías. Lo anterior establece la relevancia de la coordinación de las diferentes tareas de diseño y operación cuando se hace el escalamiento debido a la aplicación. Esto es, el proceso mismo del diseño del vehículo se vería modificado si se tomara en cuenta la vida de las baterías y no se ha investigado de manera integral como resultado de que no se ha optado por un punto de vista multidisciplinario y orientado a la resolución de un problema específico en la transportación. La solución de estos problemas dependen esencialmente de la escalas de tamaño/potencia.

Referencias

- [1] Griselda Ivone Zamora Gomez “Efecto de la Topología del Tren de Potencia en la vida de las baterías”, Tesis de Maestría, IPICYT, 2015